Der Einfluß von Gas und Elektrodenmaterial bei kurzen Metallfunkenstrecken.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der hohen philosophischen Fakultät der Georgia-Augusta-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Ernst Taege

aus **Danzig.**

Göttingen 1914.

Druck von Thomas & Hubert
Spezialdruckerei für Dissertationen
Weida i. Thür.

Angenommen von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung.

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Januar 1914.

Referent: Herr Geh. Reg.-Rat Professor Dr. E. Riecke.

Meinen lieben Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548110_0076

§ 1.

Der Zweck der Untersuchung und das Prinzip der Messung.

Es ist längst bekannt, daß die Schwingungen in Kondensatorkreisen durch eine eingeschaltete Funkenstrecke wesentlich beeinflußt werden. Ist der Kondensatorkreis nicht mit einem Sekundärsystem gekoppelt, so wird der Abfall der Amplitude[1] und eventuell auch die Frequenz[2] durch die Funkenstrecke geändert. Ist er mit einem Sekundärsystem gekoppelt, so kann der Verlauf der Schwingungen ein qualitativ anderer werden, als bei einem Primärsystem ohne Funkenstrecke, es kann die Erscheinung der Löschfunken (Stoßerregung) eintreten[3]. Bekannt ist ebenso, daß für den Einfluß der Funkenstrecke das Material der Elektroden und die Beschaffenheit des Gases, in dem sie sich befinden, von wesentlicher Bedeutung sind[4]. So

---

[1] F. Richarz und W. Ziegler, Ann. Phys. **1**, 468 (1900); J. Zenneck, Ann. Phys. **13**, 822 (1904); A. Heydweiller, Ann. Phys. **19**, 649 (1906); H. Barkhausen, Phys. Z. **8**, 624 (1907); D. Roschansky, Phys. Z. **9**, 627 (1908) und Ann. Phys. **36**, 281 (1911); L. Chaffee, Proc. Americ. Acad. **47**, 267 (1911) und Jahrb. d. drahtl. Tel. **7**, 483 u. 555 (1913).

[2] M. Wien, Phys. Z. **11**, 282 (1910); H. Riegger, Diss., Straßburg 1911 und Jahrb. d. drahtl. Tel. **5**, 35 (1912).

[3] M. Wien, Phys. Z. **9**, 49 (1908); Ann. Phys. **25**, 625 (1908) und Jahrb. **1**, 469 (1908).

[4] M. Wien, Phys. Z. **11**, 282 (1910); W. F. Zorn, Phys. Z. **10**, 547 (1909) und Jahrb. d. drahtl. Tel. **4**, 260 u. 382 (1911).

sind Silber und Kupfer als Material für Löschfunkenstrecken besonders günstig, Magnesium besonders ungünstig[1], und unter den Gasen begünstigt Wasserstoff in hohem Maße die Löschwirkung[2]. Als Grund für das abweichende Verhalten der verschiedenen Metalle und Gase wird gewöhnlich der Unterschied in ihrem Wärmeleitvermögen angeführt, ohne daß darüber experimentelle Untersuchungen gemacht sind; andere Autoren vermuten, daß dabei chemische Wirkungen eine wesentliche Rolle spielen[3]. Ziel der vorliegenden Arbeit war es in erster Linie, zu untersuchen, ob chemische Einflüsse das Ausschlaggebende für dieses verschiedene Verhalten der Metalle und Gase sind oder ob ihre physikalischen Eigenschaften zur Erklärung ihrer Wirkung ausreichen.

Diese Aufgabestellung erfordert, daß nicht nur die Metalle variiert werden oder nur die Gase, sondern gleichzeitig die Metalle und die Gase. Sie erfordert ferner, daß man irgend ein Maß gewinnt, welches das Verhalten der Funkenstrecke charakterisiert und einen Vergleich zwischen ihrer Wirkung und derjenigen einer anderen Funkenstrecke zuläßt. Am nächsten liegt, den für die Praxis besonders wichtigen Fall, nämlich Koppelung mit einem abgestimmten Sekundärsystem herzustellen und die Güte der Löschwirkung unmittelbar zu untersuchen, wie dies z. B. von H. Riegger und besonders ausführlich von A. Schmid geschehen

[1] M. Wien, Jahrb. d. drahtl. Tel. **4**, 135 (1911); A. Schmid, Diss., Straßburg 1912; D. Roschansky, Phys. Z. **13**, 931 (1912); H. Rohmann, Phys. Z. **14**, 528 (1913).

[2] A. Espinosa de los Monteros, Jahrb. d. drahtl. Tel. **1**, 480 (1908); B. Glatzel, Phys. Z. **11**, 886 u. 890 (1910); Verh. D. Phys. Ges. **12**, 590 u. 830 (1910) und Phys. Z. **34**, 711 (1911).

[3] B. Glatzel, l. c.; L. Chaffee, l. c.

ist[1]. Allein gerade diese Untersuchungen haben gezeigt, daß die Löschwirkung in diesem Fall außer von den Eigenschaften der Funkenstrecke noch in hohem Maße von dem Koppelungsgrad abhängt und zwar in keineswegs übersichtlicher Weise. Trägt man den Koppelungsgrad als Abszisse, den zugehörigen Stromeffekt im Sekundärsystem als Ordinate auf, so ergeben sich Kurven mit einer ganzen Reihe von Maximis und Minimis[2]. Es wäre unter diesen Umständen ganz unmöglich gewesen, einen eindeutigen Vergleich zu erhalten zwischen einer so großen Reihe von Funkenstrecken, wie ich sie durch Variation von Elektrodenmaterial, Gas und Elektrodenabstand erhielt. Ich habe deshalb eine Anordnung gewählt, die zwar nicht gestattet, die Güte der Löschwirkung in jenem praktisch besonders wichtigen Falle unmittelbar zu beurteilen, die aber ein bis zu einem gewissen Grad eindeutiges, vom Koppelungsgrad unabhängiges Maß für die Löschwirkung der betr. Funkenstrecke liefert und gestattet, eine Reihe von Funkenstrecken auf ihre Löschwirkung zu vergleichen.

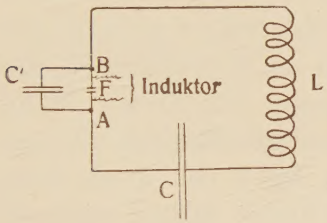


Fig. 1.

Diese Anordnung, die gewisse Ähnlichkeit mit denjenigen von G. Seibt[3] und K. Settnick[4] hat, bestand in der extrem festen Koppelung von zwei sehr stark verstimmten Systemen in der Form, wie sie Fig. 1 zeigt. Als Primärsystem (Stoßkreis) ist hier der Kreis AFBLC aufzufassen,

---

[1] H. Riegger, l. c.; A. Schmid, l. c.
[2] H. Riegger, l. c.; A. Schmid, l. c.
[3] C. Seibt, Ann. Phys. **35**, 191 (1911).
[4] K. Settnick, Diss., Greifswald 1910 und Ann. Phys. **34**, 565 (1911).

als Sekundärsystem AC'BLC. Nimmt man die Resonanzkurve dieses Systems bei kleiner Funkenlänge mit Hilfe eines lose damit gekoppelten Meßkreises auf, so erhält man Kurven, wie sie Fig. 2 und 3 zeigen, in denen als Abszissen die Werte der veränderlichen Kapazität des Meßkreises, als Ordinaten die Stromeffekte in demselben (bezw. die ihnen proportionalen Ausschläge des Meßinstruments) aufgetragen sind. Die Maxima dieser beiden Kurven entsprechen (bis auf mindestens $1\,^0/_0$) der Eigenfrequenz des Kreises AFBLC (im folgenden mit I bezeichnet) und derjenigen des Kreises AC'BLC (im folgenden II genannt). Das erstere wurde festgestellt, indem der Kondensator C' entfernt und damit die Schwingungen des Kreises AFBLC allein erregt wurden (Genauigkeit der Messung $1\,^0/_0$ ca.). Daß das andere Maximum (in Fig. 2 und 3 mit II bezeichnet) der Eigenfrequenz des Kreises AC'BLC entsprach, wurde ermittelt, indem man in diesen Kreis ein Meßinstrument einschaltete und auf ihn in extrem loser Koppelung einen durch eine gewöhnliche Funkenstrecke erregten Meßkreis induzieren ließ; dabei blieb die Plattenfunkenstrecke F (vergl. § 2, b), deren Kapazität nicht vernachlässigt werden darf, parallel zu C' liegen, die Amplitude der Schwingungen wurde aber natürlich so niedrig gehalten, daß keine Funken bei F übergingen (Genauigkeit der Messung $^1/_2\,^0/_0$).

Die Anordnung liefert also im wesentlichen die Eigenschwingungen der beiden Kreise I und II. Das Zustandekommen der Schwingung im Kreise II läßt sich am einfachsten so erklären[1], daß die Schwingung durch die Funkenstrecke bei einem gewissen Werte der Spannung abreißt und die noch vorhandene Energie dann im funkenlosen Kreise ausschwingt. Bezeichnen wir mit V_0 die

[1] Vergl. C. Settnick, l. c.; G. Mie, Phys. Z. **11**, 1035 (1910) und Ann. Phys. **36**, 207, (1911); H. Rukop, Ann. Phys. **42**, 489 (1913).

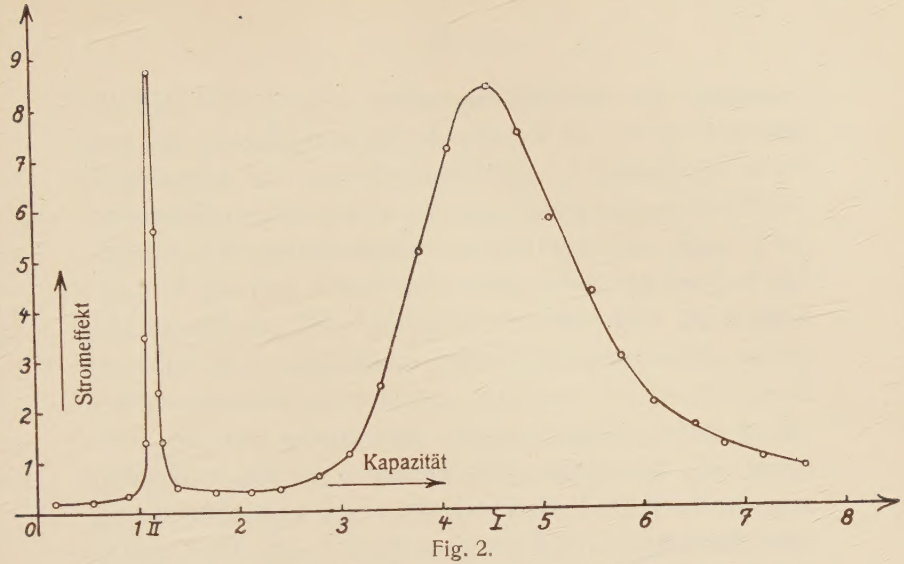


Fig. 2.
Resonanzkurve für Kupfer in Luft bei 0,11 mm Funkenlänge.

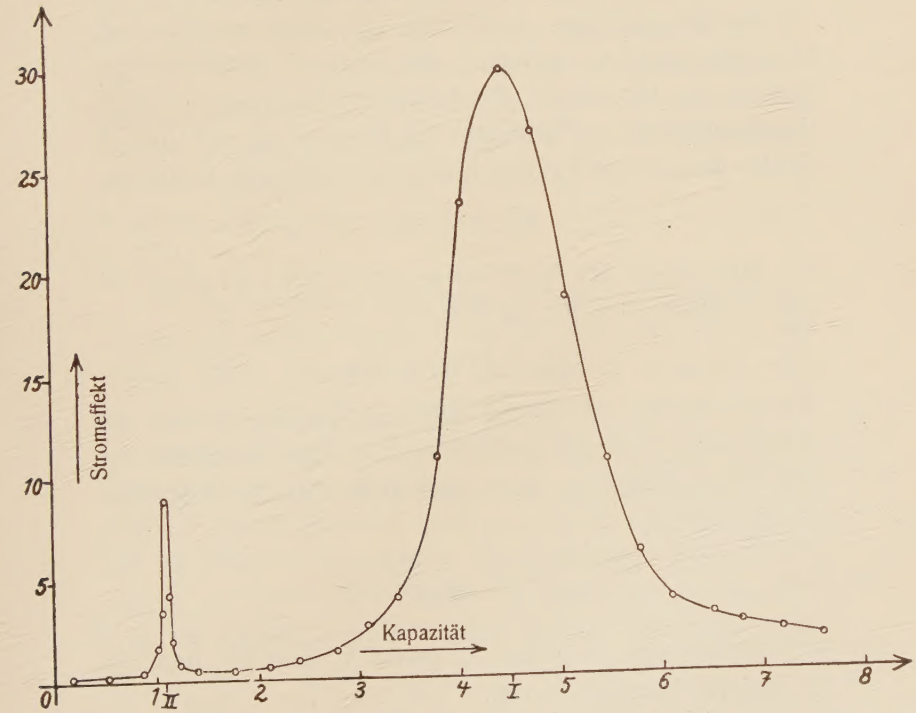


Fig. 3.
Resonanzkurve für Kupfer in Luft bei 0,21 mm Funkenlänge.

Spannung, bei der die Entladung einsetzt, mit V_0' die Spannung an C, bei welcher der Funken abreißt, und mit V_F die Spannung an der Funkenstrecke im Augenblicke des Abreißens; berücksichtigen wir ferner, daß die Spannung an C wegen der sehr kleinen Selbstinduktion des Kreises FAC'B beim Abreißen praktisch $= V_F$ ist, und machen wir endlich die sehr natürliche Annahme, daß der Funken abreißen wird, wenn der Strom gerade den Wert Null hat. Dann können wir folgendes aussagen: im Falle $V_F = 0$ erhalten wir im Kreise II eine Schwingung von der Amplitude V_0'; von diesem Falle entfernen wir uns umsomehr, je größer V_F ist (für $V_F = V_0'$ würden wir gar keine Schwingung mehr bekommen). Nun ist V_F sicherlich sehr klein, sodaß wir uns auf den Fall $V_F = 0$ beschränken können.

Bei der benutzten Anordnung sind, wenn wir Gas und Elektrodenmaterial variieren, die einzigen veränderlichen Größen: V_0, V_0' und $\mathfrak{d}_1^{(I)}$, das Dekrement des Funkenkreises. Der Stromeffekt im Meßkreise bei Abstimmung auf Kreis II ist also durch V_0 bis auf eine Konstante vollständig bestimmt:

$$J_{2\,\mathrm{eff}}^{II\,2} = C_1 \cdot V_0'^{\,2}$$

Der Stromeffekt bei Abstimmung auf Kreis I hingegen ist eine Funktion von V_0, V_0' und $\mathfrak{d}_1^{(I)}$:

$$J_{2\,\mathrm{eff}}^{I\,2} = F(V_0, V_0', \mathfrak{d}_1^{I}).$$

Die Funktion F wächst dabei mit wachsendem V_0, sie nimmt ab mit wachsendem V_0' und $\mathfrak{d}_1^{(I)}$. Das Verhältnis der dem Stromeffekte im Meßkreise proportionalen Galvanometerausschläge

$$\frac{a_{II}}{a_I} = C \cdot \frac{V_0'^{\,2}}{F(V_0, V_0', \mathfrak{d}_1^{(I)})}$$

ist demnach um so größer, je größer V_0' und $\mathfrak{d}_1^{(I)}$, und um so kleiner, je größer V_0 ist.

Nun werden wir einer Funkenstrecke einmal dann eine gute Löschwirkung zuschreiben, wenn sie den Funken bei einem Werte V_0' zum Abreißen bringt, der möglichst groß ist im Vergleich mit V_0, andererseits dann, wenn der Abfall von V_0 auf V_0' in möglichst wenigen Perioden erfolgt, d. h. wenn $\mathfrak{d}_1^{(I)}$ groß ist. Wir sind daher berechtigt, α_{II}/α_I als Maß für die Güte der Löschwirkung anzusehen; denn auch α_{II}/α_I ist um so größer, je größer V_0' im Verhältnis zu V_0 und je größer $\mathfrak{d}_1^{(I)}$ ist.

Insofern gibt also das Verhältnis α_{II}/α_I ein Maß für die Löschwirkung der betr. Funkenstrecke, ohne daß damit behauptet werden soll, daß der Mechanismus der Löschwirkung in unserem Falle genau derselbe ist wie bei der Koppelung abgestimmter Systeme. Daß dem absoluten Werte des Verhältnisses α_{II}/α_I keine Bedeutung zukommt, daß er vielmehr von den Konstanten der gewählten Anordnung abhängt, ist ohne weiteres klar. Da es sich aber für den vorliegenden Zweck nur um relative Messungen, um den Vergleich mehrerer Funkenstrecken unter genau denselben Bedingungen handelt, so bedeutet dies keinen Nachteil.

Bei der gewählten Anordnung müssen außer den Eigenschwingungen der Kreise I und II auch diejenigen des Kreises AFBC′ entstehen. Da die Frequenz desselben sehr viel größer war[1] als diejenige der Kreise I und II, so war von vornherein nicht wahrscheinlich, daß durch diese Eigenschwingungen das Verhältnis α_{II}/α_I erheblich beeinflußt würde. Es wurde aber auch noch ausdrücklich geprüft dadurch, daß zwischen C′ und A eine Selbstinduktion eingeschaltet wurde, die klein im Vergleich zu derjenigen von L, aber groß im Verhältnis zu derjenigen der kurzen Verbindungs-

[1] Vergl. § 2, a).

drähte C'A und C'B war. Obwohl dadurch die Eigenschwingungen des Kondensatorkreises AFBC' also erheblich geändert wurden, ließ sich doch kein merklicher Einfluß auf das Verhältnis α_{II}/α_I feststellen.

§ 2.

Genauere Beschreibung der Versuchsanordnung.

a) Die Schaltung.

Die Schaltung war diejenige von Fig. 4. Darin bezeichnet CLF den oben besprochenen Kreis I, CLC' den Kreis II. Es bedeutet darin ferner C einen Wienschen Preßgaskondensator von der Kapazität $6{,}4\times10^{-3}$ M. F., C' einen solchen von der Kapazität $1{,}81\times10^{-3}$ M. F., L eine Selbstinduktion von ca. 27000 cm, F die Plattenfunkenstrecke (s. u.) und E ein Braunsches Elektrometer. Die Selbstinduktion des Meßkreises betrug ca. 38000 cm. Durch die Wippe W konnte als Kapazität entweder — zur Abstimmung auf den Kreis I — der Drehkondensator C_I (maximale Kapazität $3{,}1\times10^{-3}$ M. F.) + zwei parallel geschalteten Preßgaskondensatoren C_I' (Kapazität $2{,}7\times10^{-3}$ M. F.) eingeschaltet werden oder — zur Abstimmung auf den Kreis II — der Drehkondensator C_{II} (maximale Kapazität $0{,}31\times10^{-3}$ M. F.) + dem parallel geschalteten Preßgaskondensator C_{II}' (Kapazität $0{,}92\times10^{-3}$ M. F.). T war ein hochempfindliches Brandessches Thermoelement (evakuiert) Konstantan-Eisen, G ein Siemens & Halskesches Spiegelgalvanometer (System Deprez d'Arsonval) mit einer Empfindlichkeit: 1 Skalenteil $= 3{,}0\times10^{-6}$ Volt.

Der Abstand der Spulen L und L_1 wurde so groß gewählt, daß eine weitere Entfernung die Gestalt der oben besprochenen Resonanzkurve nicht mehr änderte, d. h. die

Koppelung zwischen den Schwingungskreisen und dem Meßkreise war extrem lose.

Die benutzten Wellenlängen betrugen:

Kreis I: $\lambda = 790$ m
Kreis II: $\lambda = 380$ m
Kreis C'F: $\lambda = 58$ m.

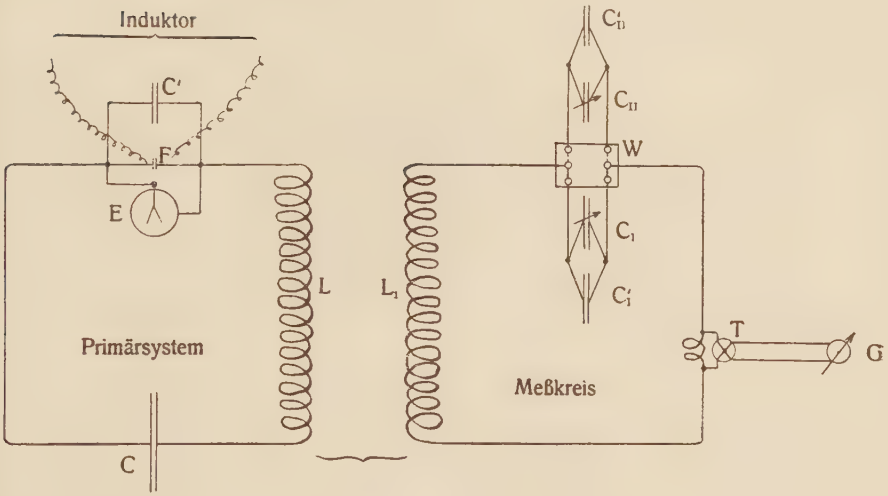


Fig. 4.

Die letztere Wellenlänge wurde mittels eines Lecherschen Drahtsystems ermittelt. Die Wellenlänge des Kreises C'F ist also 14mal kleiner als die des Kreises I (vergl. oben).

Für die Dekremente ergab sich:

Schwingungskreis I: $\vartheta_1^{(I)}$ verschieden je nach Funkenlänge, Gas und Metall.
Schwingungskreis II: $\vartheta_1^{(II)} = 0{,}03$
Meßkreis I (Kondensator $C_I + C_I'$): $\vartheta_2^{(I)} = 0{,}14$.
Meßkreis II (Kondensator $C_{II} + C_{II}'$): $\vartheta_2^{(II)} = 0{,}075$.

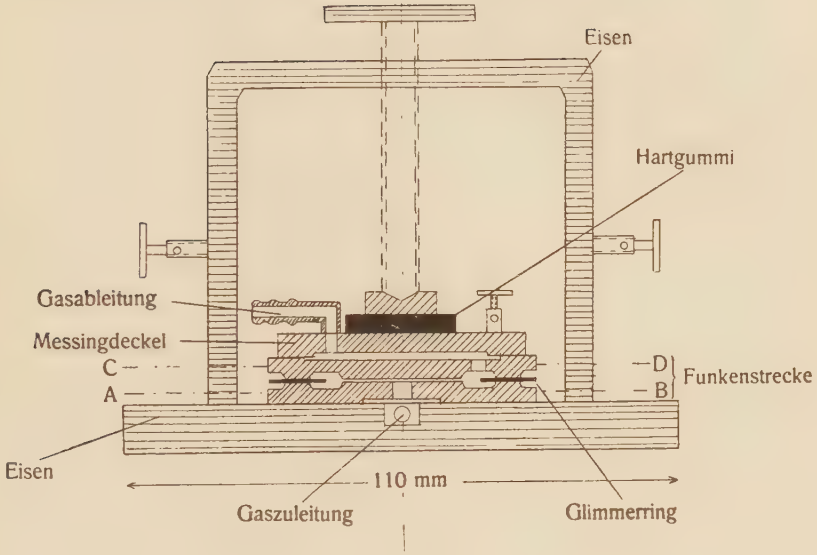
Das große Dekrement des Meßkreises ist darauf zurückzuführen, daß ein sehr beträchtlicher Teil des Stromes durch das Thermoelement hindurchging.

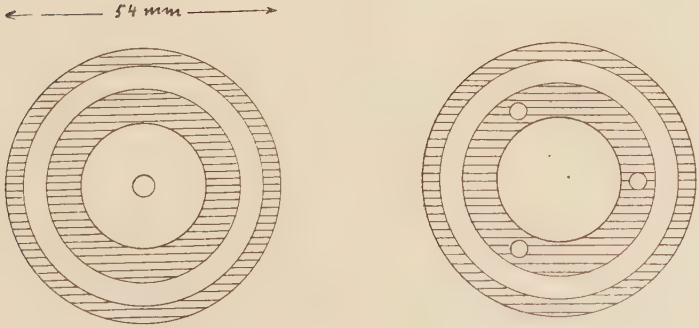
Als Induktorium wurde ein Boasscher Resonanzinduktor benutzt, der mit ca. 50 periodigem (genauer 54 periodigem) Wechselstrom gespeist wurde. Um eine Resonanzwirkung möglichst auszuschließen, war die Koppelung zwischen Primär- und Sekundärspule des Induktors so eng wie möglich gemacht und außerdem in die Zuleitung zur Funkenstrecke ein großer Wasserwiderstand eingeschaltet. Der Wechselstrom wurde so einreguliert, daß die Funken eben übergingen. Wie eine nachträgliche Kontrolle mit einer Glimmlichtoszillographenröhre ergab, ging dabei pro Periode nur ein einziger Funken über, sei es infolge einer unvermeidlichen kleinen Unsymmetrie der beiden Elektroden, sei es infolge einer Andeutung von Resonanzwirkung. Die Entladungszahl betrug demnach 54 Funken pro Sekunde.

b) Die Funkenstrecke.

Die Konstruktion der benutzten Funkenstrecke geht aus der Fig. 5 hervor. Der Abstand der Platten der Funkenstrecke ließ sich durch dazwischen gelegte Glimmerringe verschiedener Dicke sehr genau einstellen. Die Plattenfunkenstrecke war also ähnlich gebaut wie die in der Praxis benutzten Löschfunkenstrecken der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie. Das Gas wurde durch eine zentrale Öffnung in der einen Plattenelektrode (Schnitt AB der Fig. 5) eingeführt, durch drei peripher gelegene Öffnungen der anderen Plattenelektrode (Schnitt CD der Fig. 5) abgeführt: dadurch war dafür gesorgt, daß fortgesetzt neues Gas zwischen die Elektroden gelangte.

Bei dem geringen Elektrodenabstand (0,1 — 0,3 mm) wurde besondere Sorgfalt darauf verwendet, den Platten





Schnitt AB. Schnitt CD.

Fig. 5.

eine möglichst ebene und glatte Oberfläche zu geben. Zu diesem Zwecke wurden die beiden Platten der Funkenstrecke zunächst auf der Drehbank mit Schmirgelpulver gegen einander abgeschliffen, dann auf einer mit Leinwand überzogenen ebenen Glasplatte mit Englischrot und Terpentinöl poliert und schließlich auf einer mit Seide überzogenen ebenen Glasplatte mit Englischrot und Alkohol nachpoliert, sodaß sie ein gutes Spiegelbild gaben.

Bei dem Gebrauch hat man vor allem mit dem Übelstande zu kämpfen, daß der Funken sich festfrißt, d. h. vorwiegend an einer Stelle übergeht, an der sich dann gewöhnlich eine kleine Erhöhung bildet, sodaß die Funkenlänge eine geringere wird als die Dicke des Glimmerringes. Dies Festfressen läßt sich bei einer Reihe von Metallen dadurch vermeiden, daß man in der oben beschriebenen Weise für eine genügend glatte und gleichmäßige Oberfläche sorgt. Bei bestimmten Metallen ist es aber unmöglich, für längere Zeit einen gleichmäßigen Funkenübergang zu erhalten: bei Zinn, Zink und Aluminium wurden aus diesem Grunde nur wenige Beobachtungen gemacht und bei ihnen auf eine konsequente Durchführung der Beobachtungsreihe für alle Gase verzichtet. Am gleichmäßigsten und am geringsten werden Kupfer, Messing, Silber und Platin angegriffen. Nickel und besonders Magnesium werden stärker angegriffen, doch frißt sich der Funken auch bei ihnen nicht leicht fest[1].

Die benutzten Metalle waren zum größten Teil von der Firma Kahlbaum, Berlin, bezogen, das Platin von Heraeus, Hanau. Bei Kupfer, Messing, Zinn, Zink, Aluminium und Magnesium waren die Elektroden massiv hergestellt.

[1] Ich habe in dieser Beziehung also genau dieselben Erfahrungen gemacht wie A. Schmid (l. c.).

Bei Platin, Silber und Nickel waren dünne Bleche auf die im übrigen aus Messing gedrehten Platten aufgelötet; die Platten wurden dann in fertigem Zustand in der oben beschriebenen Weise abgeschliffen.

c) Bereitung und Trocknung der Gase.

Der Wasserstoff wurde elektrolytisch hergestellt (Nickelelektroden in Natronlauge).

Der Stickstoff wurde einer Bombe entnommen, für deren freundliche Überlassung ich der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen, zu großem Danke verpflichtet bin. Er war vollkommen frei von Sauerstoff, enthielt dagegen ca. 3 % Wasserstoff.

Der Sauerstoff wurde einer Bombe entnommen, die von den Berliner Sauerstoffwerken bezogen war.

Das Methan wurde durch Erhitzen von Natriumacetat und Bariumoxyd (technisch 98 %) entwickelt und zur Reinigung durch Natronlauge und konzentrierte Schwefelsäure geleitet. Zur Kontrolle wurde bei einigen Versuchen chemisch reines Bariumoxyd verwandt und festgestellt, daß die Resultate dadurch nicht merklich verändert wurden.

Das Ammoniak wurde durch Erhitzen von Ammoniumchlorid und gelöschtem Kalk in einem eisernen Gefäß bereitet.

Das Chlor wurde aus Kaliumpermanganat und Salzsäure entwickelt.

Zur Trocknung wurden alle Gase mit Ausnahme von Ammoniak durch eine Waschflasche mit konzentrierter Schwefelsäure und hinterher durch ein Trockengefäß mit Phosphorpentoxyd geleitet. Ammoniak wurde mit ge-

branntem Kalk, Natronkalk und reinem Phosphorpentoxyd getrocknet.

Bei den Versuchen mit feuchten Gasen und mit Dämpfen perlte das Gas durch eine Waschflasche mit Wasser bezw. der betr. Flüssigkeit hindurch. Wasserstoff und Methan waren außerdem im Gasometer über Wasser aufbewahrt. Die Gase waren also sicherlich mit Wasserdampf gesättigt. Die Temperatur schwankte zwischen 16° und 20° C.

Die Menge des durch die Funkenstrecke strömenden Gases betrug etwa 50—100 ccm pro Minute. Das entspricht einer Geschwindigkeit des Gases zwischen den Platten der Funkenstrecke, die an dem Rande der zentralen Durchbohrung der Elektrode (vergl. Schnitt AB der Fig. 5) je nach der benutzten Funkenlänge zwischen 19 und 120 cm pro Sekunde schwankt; am äußeren Rande der Platten ist die Geschwindigkeit etwa 5mal kleiner.

§ 3.

Der Gang einer Messung und die erreichte Genauigkeit.

Bei der Aufnahme der unten wiedergegebenen Beobachtungsreihen wurde folgendermaßen verfahren: die Platten der Funkenstrecke, die in der oben beschriebenen Weise abgeschliffen, poliert und dann mit Alkohol und Äther gründlich gereinigt waren, wurden zusammengesetzt und der Stromkreis geschlossen. Nachdem die Funkenstrecke einige Zeit im Betrieb gewesen war (vergl. unten), wurde der Effektivwert der an ihr herrschenden Spannung mittels des Braunschen Elektrometers abgelesen. Es wurde dann mit den variablen Kondensatoren C_I und C_{II} auf die Wellenlängen der Kreise I (Hauptschwingung durch den Funken

hindurch) und II (Schwingung durch die parallel zur Funkenstrecke liegende Kapazität C′ hindurch) abgestimmt und die Ausschläge α_I und α_{II} des Galvanometers bei Resonanz abgelesen. Nachdem drei Ablesungen gemacht waren, wurde die Funkenstrecke wieder auseinandergenommen und nach der erneuten Zusammensetzung weitere drei Ablesungen von α_I und α_{II} gemacht. Auf diese Weise sollte vermieden werden, daß sich Fehler infolge zufälliger Unregelmäßigkeiten einschlichen. Aus den sechs Ablesungen wurde dann der Mittelwert von α_{II}/α_I gebildet.

Die maximalen Abweichungen von dem Mittelwert betrugen bis zu 10%; besonders bei der Ablesung von α_{II} zeigten sich starke Schwankungen, die nicht zu beseitigen waren, während die Schwankungen bei der Ablesung von α_I nicht ganz so stark waren. Noch größer (bisweilen 30%) wurden die Abweichungen zwischen Messungen, die nicht im Zusammenhang gemacht waren, wenn also z. B. einzelne frühere Messungen nach Tagen wiederholt wurden. Wie sich herausstellte, hat nämlich die Oberflächenbeschaffenheit der Elektroden einen recht großen Einfluß auf die Resultate. War eine Funkenstrecke inzwischen in einem anderen Gas benutzt worden, so waren die anfänglichen Werte häufig recht verschieden von denen, die man früher nach längerem Gebrauch der Funkenstrecke in dem zu untersuchenden Gase erhalten hatte. Auch die Ablesungen am Elektrometer waren dann nicht mehr dieselben und zwar in dem Sinne, daß einer Vergrößerung von α_{II}/α_I eine Verkleinerung der Elektrometerablesungen entsprach. Man näherte sich den früheren Werten wieder, wenn man die Funkenstrecke in dem zu untersuchenden Gas wieder längere Zeit in Betrieb ließ. Immerhin betrugen auch bei Beachtung aller Vorsichtsmaßregeln die Unterschiede zwischen Beobachtungen, die zeitlich lange auseinanderlagen, noch vielfach gegen

20%. Solche Abweichungen mögen auf den ersten Blick als auffallend groß erscheinen. Es ist indes zu bedenken, daß die Unterschiede der Werte, die man zwischen den verschiedenen Metallen und Gasen erhielt, zum Teil viele hundert Prozent betrugen, daß es also auf Abweichungen von 20% nicht viel ankam. Bei denjenigen Metallen und Gasen allerdings, bei denen die Unterschiede nur klein waren, wird man sich unter den vorliegenden Umständen hüten müssen, aus diesen kleinen Unterschieden irgend welche Schlüsse zu ziehen.

Besonderes Augenmerk hat man noch dem Festfressen des Funkens zuzuwenden, das sich meist durch einen Abfall der Spannung am Elektrometer zu erkennen gab. Die Elektroden der Funkenstrecke wurden nach jeder Meßreihe daraufhin untersucht, ob sie gleichmäßig angegriffen waren, und es wurden Meßreihen, bei denen dies nicht der Fall war, nicht verwertet.

§ 4.

Zusammenstellung der Messungen.

In den folgenden Tabellen sind die beobachteten Mittelwerte von a_{II}/a_I zusammengestellt und zwar einmal (Tabelle I) bei der Beobachtung an trocknen Gasen, das zweite Mal (Tabelle II) bei der Beobachtung an feuchten Gasen. Die unter den eigentlichen Zahlen stehenden kleinen Zahlen geben den Effektivwert der Spannung an, die am Elektrometer abgelesen wurde.

Außer diesen Beobachtungen wurden noch Messungen mit den Gasen Chlor, Ammoniak und Leuchtgas gemacht, die jedoch nicht für alle Metalle und Funkenlängen durchgeführt wurden. Da bei den Messungen in Chlor, wo auch die Auflageflächen für die Glimmerringe stark angegriffen wurden, die Funkenlänge nicht genau festgestellt wurde,

Tabelle I.

Funkenlänge = (mm)	Luft			Stickstoff			Sauerstoff			Methan			Wasserstoff		
	0,11	0,21	0,32	0,10	0,20	0,31	0,11	0,21	0,32	0,11	0,21	0,32	0,11	0,21	0,32
Kupfer	1,2	0,18	0,10	0,80	0,11	0,044	1,0	0,22	0,091	5,0	0,87	0,27	8,2	2,0	1,1
	570	830	1120	500	780	1030	600	850	1040	450	660	880	400	590	700
Silber	0,89	0,17	0,083	0,59	0,11	0,041	0,78	0,27	0,12	2,5	0,59	0,24	9,2	1,9	0,86
	600	830	1140	500	780	1020	590	770	1020	550	740	950	390	560	700
Messing	1,1	0,16	0,072	1,2	0,15	0,056	0,89	0,24	0,096	4,9	0,87	0,30	9,5	4,4	1,4
	530	800	1080	470	740	990	600	780	1050	500	730	920	410	530	680
Platin	0,79	0,26	0,098	1,3	0,16	0,052	1,1	0,24	0,087	1,7	0,55	0,19	9,7	3,3	1,0
	530	780	1020	460	700	900	580	810	1060	470	700	930	400	530	660
Zink	0,86	0,18	0,080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	550	780	1020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nickel	0,79	0,18	0,059	0,63	0,11	0,031	0,92	0,16	0,080	1,4	0,40	0,14	6,4	1,6	0,63
	590	820	1100	510	790	1030	570	880	1110	500	710	910	420	580	730
Aluminium	0,38	0,033	0,016	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	540	780	1010	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Magnesium	0,062	0,096	0,0051	0,16	0,020	0,0073	0,055	0,020	0,0082	0,32	0,074	0,055	0,67	0,16	0,044
	480	770	970	440	720	970	510	680	980	530	770	890	380	510	680

Tabelle II.

Funkenlänge = (mm)	Luft			Stickstoff			Sauerstoff			Methan			Wasserstoff		
	0,11	0,21	0,32	0,10	0,20	0,31	0,11	0,21	0,32	0,11	0,21	0,32	0,11	0,21	0,32
Kupfer	1,7	0,33	0,13	1,0	0,21	0,077	2,3	0,53	0,23	5,4	1,0	0,41	10,4	3,1	1,5
	530	750	980	500	740	1020	500	700	900	440	680	890	410	540	700
Silber	1,0	0,24	0,096	0,71	0,17	0,055	1,5	0,34	0,17	3,3	0,64	0,28	12,0	2,9	1,2
	580	780	1030	530	790	1050	560	760	940	510	740	930	420	550	700
Messing	1,5	0,26	0,12	1,4	0,20	0,073	2,5	0,49	0,21	6,1	1,0	0,33	9,9	3,9	1,4
	520	760	1000	490	730	1020	520	720	920	430	690	900	420	550	700
Platin	1,5	0,27	0,096	1,2	0,23	0,059	1,9	0,43	0,16	6,4	0,85	0,29	7,4	3,2	1,1
	520	760	990	480	700	990	520	710	920	460	700	890	410	520	680
Nickel	0,87	0,22	0,082	0,84	0,15	0,050	1,5	0,39	0,16	2,8	0,48	0,20	9,6	2,9	1,2
	580	780	1020	540	800	1070	550	750	980	490	700	910	400	580	700
Magnesium	0,092	0,014	0,0088	0,11	0,016	0,0060	0,10	0,029	0,013	0,19	0,046	0,014	0,23	0,10	0,034
	400	650	950	460	720	980	450	670	830	460	690	890	380	510	650

sind die unter möglichst denselben Umständen in Luft beobachteten Werte zum Vergleich angegeben. Die Beobachtungen sind in Tabelle III zusammengestellt.

Tabelle III.

	Leuchtgas (Funkenlänge 0,21)	Ammoniak (Funkenlänge 0,21)	Luft	Chlor
Kupfer	—	0,34 680	0,16 890	0,14 1020
Kupfer	—	—	0,090 950	0,59 1500
Silber	1,0 690	0,34 750	—	—
Messing	1,4 670	—	—	—
Platin	—	—	0,40 700	0,13 1000
Platin	—	—	0,50 800	0,16 980
Magnesium	—	—	0,015 1060	0,025[1] 1400

§ 5.

Einfuß der Funkenlänge.

Um den Einfluß der Funkenlänge zu illustrieren, sind die Zahlen der Tabelle I so umgerechnet, daß der Wert von α_{II}/α_{I} für die mittlere Funkenlänge von 0,21 mm in

[1] Nur einmalige Ablesung.

Tabelle IV.

Funkenlänge = (mm)	Luft			Stickstoff			Sauerstoff			Methan			Wasserstoff		
	0,11	0,21	0,32	0,10	0,20	0,31	0,11	0,21	0,32	0,11	0,21	0,32	0,11	0,21	0,32
Kupfer	6,7	1,00	0,55	7,3	1,00	0,40	4,5	1,00	0,41	5,7	1,00	0,31	4,1	1,00	0,55
Silber	5,2	1,00	0,49	5,4	1,00	0,37	2,9	1,00	0,44	4,2	1,00	0,41	4,8	1,00	0,45
Messing	6,9	1,00	0,45	8,0	1,00	0,37	3,7	1,00	0,40	5,6	1,00	0,35	2,2	1,00	0,32
Platin	3,0	1,00	0,31	8,1	1,00	0,33	4,6	1,00	0,36	3,1	1,00	0,35	2,9	1,00	0,30
Zink	4,8	1,00	0,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nickel	4,4	1,00	0,33	5,7	1,00	0,28	5,7	1,00	0,50	3,5	1,00	0,35	4,0	1,00	0,39
Aluminium	11,5	1,00	0,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Magnesium	6,5	1,00	0,53	8,0	1,00	0,36	2,8	1,00	0,41	4,3	1,00	0,74	4,2	1,00	0,28
Mittel	6,1	1,00	0,45	7,1	1,00	0,35	4,0	1,00	0,42	4,4	1,00	0,42	3,7	1,00	0,38

Tabelle V.

Funkenlänge = (mm)	Luft				Stickstoff				Sauerstoff				Methan				Wasserstoff			
	0,11	0,21	0,32	Mittel	0,10	0,20	0,31	Mittel	0,11	0,21	0,32	Mittel	0,11	0,21	0,32	Mittel	0,11	0,21	0,32	Mittel
Kupfer	1	1	1	1	0,67	0,61	0,44	0,57	0,84	1,22	0,91	0,99	4,2	4,8	2,7	3,9	6,8	11	11	9,6
Silber	1	1	1	1	0,66	0,65	0,49	0,60	0,88	1,59	1,44	1,30	2,8	3,5	2,9	3,1	10	11	10	10
Messing	1	1	1	1	1,09	0,94	0,78	0,94	0,81	1,50	1,34	1,22	4,5	5,4	4,2	4,7	8,6	28	19	19
Platin	1	1	1	1	1,65	0,62	0,53	0,93	1,40	0,92	0,89	1,07	2,2	2,1	1,94	2,1	12	13	10	12
Nickel	1	1	1	1	0,80	0,61	0,52	0,64	1,16	0,89	1,38	1,14	1,77	2,2	2,4	2,1	8,1	8,9	11	9,3
Magnesium	1	1	1	1	2,6	2,1	1,44	2,0	0,89	2,1	1,61	1,53	5,2	7,7	11,0	8,0	11	17	8,7	12
Mittel	—	—	—	1	—	—	—	0,95	—	—	—	1,21	—	—	—	5,7	—	—	—	12

allen Gasen und für alle Metalle $=1$ gesetzt ist. Man erhält dann Tabelle IV.

Das Resultat dieser Tabelle steht in Einklang mit der Erfahrung, die bei der Koppelung von abgestimmten Systemen schon lange bekannt ist, daß nämlich die Löschwirkung mit Verkleinerung der Funkenlänge sehr stark zunimmt. Die Tabelle zeigt, daß dies bei allen untersuchten Metallen und in allen Gasen der Fall ist.

§ 6.

Einfluß des Gases.

Um den Einfluß des Gases allein deutlich hervotreten zu lassen, sind die Werte von α_{II}/α_{I} der Tabelle I (trockne Gase) für alle Metalle und für alle Funkenlängen in Luft $=1$ gesetzt. Es entseht dann die Tabelle V.

Aus der Tabelle ergibt sich als Reihenfolge der Gase nach zunehmender Löschwirkung geordnet:

Stickstoff, Luft, Sauerstoff, Methan, Wasserstoff.

Diese Reihenfolge ist dieselbe für sämtliche Metalle mit der einzigen unten zu besprechenden Ausnahme: Magnesium in sauerstofffreiem Stickstoff. Reihen wir noch die in Tabelle III angegebenen Werte für Chlor, Ammoniak und Leuchtgas ein, für die aber nur wenige Beobachtungen gemacht wurden, so ergibt sich als Reihenfolge:

Chlor, Stickstoff, Luft, Sauerstoff, Ammoniak, Methan, Leuchtgas, Wasserstoff.

Als Grundlage für die Frage, welche Eigenschaften der Gase hierbei in erster Linie in Betracht kommen, sind in der folgenden Tabelle VI eine Reihe von Konstanten der verschiedenen Gase zusammengestellt.

Tabelle VI.

Gase	ϱ	F	V	u_+	u_-	k	A
Chlor	0,0032	—	1000	ca. 1		—	0,55
Stickstoff	0,0013	4900	775	1,27	1,84	98	0,95
Luft	0,0013	4700	805	1,35	1,82	100	1,00
Sauerstoff	0,0014	4100	795	1,36	1,80	102	1,21
Ammoniak	0,00077	—	715	0,74	0,80	92	1,9
Methan	0,00072	—	720	ca. 2		139	5,7
Leuchtgas	—	—	680	—	—	267	7,4
Wasserstoff	0,000090	2900	550	6,70	7,95	710	12

Darin bedeutet:

ϱ Dichte bei 0^0 und 76 cm Druck[1],

F Funkenpotential in Volt für 1 mm Schlagweite bei Kugeln von 1 cm Radius und bei 75 cm Druck[1],

V Mittelwert des Effektivwertes der Spannung an der Funkenstrecke bei 0,21 mm Funkenlänge, gebildet für alle Metalle,

u_+, u_- Beweglichkeiten der positiven und negativen Ionen in cm pro Sek. bei einem Felde von 1 Volt pro cm (nach Landolt-Börnstein[2]), ergänzt nach der Zusammenstellung von J. Frank[3],

k Wärmeleitfähigkeit bezogen auf Luft $= 100$[2],

A Mittelwert der beobachteten Werte von α_{II} α_I, bezogen auf Luft $= 1$, als Maß für die Löschwirkung.

In Tabelle VI sind die Gase nach zunehmender Löschwirkung geordnet; diese Reihenfolge ist für alle Metalle dieselbe[4]. Sie stimmt, wie aus der ersten Kolonne der

[1] Nach Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Phys., 1910.
[2] Landolt-Börnstein, Phys.-chem. Tab., 1912.
[3] J. Frank, Jahrb. d. Radioaktivität **9**, 235, 1912.
[4] Mit Ausnahme von Magnesium in sauerstofffreiem Stickstoff (s. u.).

Tabelle VI hervorgeht, fast genau überein mit der Reihenfolge der Gase nach abnehmender Dichte.

So weit es sich um elementare Gase handelt, entspricht in guter Annäherung einer geringeren Dichte eine größere Ionenbeweglichkeit und ein größeres Wärmeleitvermögen. Für elementare Gase ergibt sich aus den Tabellen V und VI dementsprechend, daß die Löschwirkung für alle Metalle[1] um so besser ist, einen je größeren Wert das Wärmeleitvermögen und die Ionenbeweglichkeit des Gases besitzt.

Dieses Ergebnis stimmt auch noch für die zusammengesetzten Gase bezw. Mischgase Luft, Methan und Leuchtgas, so weit die entsprechenden Zahlen dafür bekannt sind. Es erleidet dagegen eine Ausnahme im Falle von Ammoniak insofern, als die Löschwirkung in Ammoniak zwar seiner Dichte entspricht, dagegen größer ist, als nach der Ionenbeweglichkeit und dem Wärmeleitvermögen zu erwarten wäre. Da von Ammoniak bekannt ist, daß es sich unter dem Einfluß von elektrischen Entladungen sehr leicht zersetzt, so liegt die Vermutung nahe, daß nach der ersten Halbperiode der Schwingung sich in der unmittelbaren Umgebung der Funkenbahn nicht mehr Ammoniak, sondern ein Gemisch von N und H befand. Berechnet man für ein solches Gemisch aus drei Teilen H und einem Teil N die Ionenbeweglichkeit gemäß der Lenardschen Formel, so ergibt sich ein Wert etwas kleiner als der von Methan. Legt man also diesen Wert zugrunde, so würden sich die Beobachtungen in „Ammoniak“ in die übrige Reihe nach steigender Ionenbeweglichkeit einordnen.

Man ist nach dem Gesagten berechtigt, den Hauptgrund für die verschiedene Löschwirkung der

[1] Mit Ausnahme von Magnesium in sauerstofffreiem Stickstoff (s. u.).

Gase in ihrer verschiedenen Ionenbeweglichkeit und in ihrer verschiedenen Wärmeleitfähigkeit zu sehen. Es liegt kein Grund für die Annahme vor, daß bei der Löschwirkung chemische Reaktionen zwischen den Metalldämpfen und den umgebenden Gasen eine ausschlaggebende Rolle spielen. —

Gewisse Beobachtungen deuten allerdings darauf hin, daß der chemischen Wirkung der Gase eine wenn auch nur untergeordnete Bedeutung zukommt, insofern, als durch das Gas die Oberfläche der Elektroden und dadurch die Löschwirkung beeinflußt wird. Auf diese Erscheinung ist es wohl zurückzuführen, daß Magnesium in dem sauerstofffreien Stickstoff merklich bessere Löschwirkung zeigt, als in Luft oder Sauerstoff. Ebenso gehört in diesen Zusammenhang die Beobachtung, daß Kupfer- und Silberelektroden, wenn sie vorher in Sauerstoff benutzt waren, in Wasserstoff anfänglich höhere Werte von α_{II}/α_I ergaben, als nach längerem Betriebe. Es gelang bei Kupfer als Grund hierfür die Oxydation des Metalls sicher nachzuweisen. Wurden nämlich die Kupferelektroden durch Erhitzen in der Bunsenflamme oder durch Beizen (mit einer Lösung aus Ammoniumacetat, Kupferacetat, Ammoniumchlorid und Kupfersulfat) oxydiert und darauf in Wasserstoff benutzt, so erhielt man genau dasselbe Resultat: die Werte von α_{II}/α_I waren anfänglich höher als nach längerem Betriebe; auch an dem Aussehen der Elektroden war deutlich zu erkennen, daß das Kupferoxyd wieder zu Kupfer reduziert wurde. Bei Silber ergab die Beobachtung, daß die Elektroden bei längerem Gebrauch in Sauerstoff eine grauschwarze Färbung annahmen, die bei nachherigem längerem Gebrauch in Wasserstoff verschwand und wieder in eine silberweiße überging. Augenscheinlich handelte es sich auch hier um eine Oxydation in Sauerstoff und nachherige Reduktion in Wasserstoff.

Die Reihenfolge der Gase nach steigender Löschwirkung stimmt, wie Tab. VI zeigt, auch ungefähr überein mit der Reihenfolge nach abnehmenden Werten von V und, so weit sie bekannt sind, auch nach abnehmenden Werten des Funkenpotentials F. Nun geht aus früheren Beobachtungen hervor, daß die Stromamplitude, die durch die Größe des Entladungspotentials bedingt ist, von großem Einfluß auf die Güte der Löschwirkung ist. Es liegt demnach nahe, auch im vorliegenden Falle zu prüfen, ob nicht die Verschiedenheit im Entladungspotential in den Gasen für die verschiedene Löschwirkung allein verantwortlich gemacht werden kann. Trägt man zu dem Zweck die Werte von a_{II}/a_{I} als Funktion des Effektivwertes V der Spannung auf, so geht aus der Figur hervor, daß die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gasen auch unter diesen Umständen keineswegs verschwinden, daß demnach die Verschiedenheit des Entladungspotentials allein keinesfalls für die verschiedene Löschwirkung maßgebend ist.

§ 7.

Einfluß von Dämpfen.

Ein Vergleich der in den Tabellen I und II angegebenen Werte von a_{II} a_{I} für trockene und feuchte Gase lehrt, daß die Anwesenheit von Wasserdampf die Löschwirkung begünstigt. Wenn sich auch aus den Tabellen einige wenige Abweichungen von dieser Regel ergeben, so sind dies nur scheinbare. Ein direkter Vergleich der beiden Tabellen ist nämlich nicht ganz zuverlässig, weil die Beobachtungen für trockene und feuchte Gase, wie sie dort angegeben sind, nicht unmittelbar nacheinander gemacht sind. Vielmehr sind zwar die einzelnen Beobachtungsreihen jede für sich im Zusammenhang gemacht, zwischen den Reihen liegt

aber bisweilen eine größere Spanne Zeit, sodaß trotz aller Vorsichtsmaßregeln ein Arbeiten unter genau denselben Verhältnissen (Oberflächenbeschaffenheit der Elektroden, genaue Funkenlänge usw.) vielleicht nicht immer garantiert war (vergl. das im § 3 Gesagte). Es wurden deshalb noch eine Reihe von Beobachtungen folgender Art gemacht: Der Wert von $\alpha_{II}\ \alpha_{I}$ für trockenes Gas wurde festgestellt, dann wurde unmittelbar hinterher, ohne daß inzwischen die Funkenstrecke auseinander genommen war, feuchtes Gas durch die Funkenstrecke geleitet und die Beobachtungen in feuchtem Gas gemacht. In der folgenden Tabelle VII sind solche Werte von α_{II}/α_{I}, wie sie unmittelbar nacheinander in trockenem und feuchtem Gas gefunden sind, zusammengestellt.

Tabelle VII.

	Funkenlänge	Luft		Stickstoff		Sauerstoff		Wasserstoff	
		trocken	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht
Kupfer	0,20	0,23	0,45	0,17	0,24	0,33	0,54	2,2	4,9
		780	730	730	730	750	710	550	480
	0,31	0,12	0,15	0,049	0,063	0,20	0,27	1,3	1,9
		1000	980	1050	980	910	900	670	610
Silber	0,20	0,13	0,15	0,10	0,13	0,18	0,23	2,0	3,9
		770	790	790	800	720	710	560	540
	0,31	0,035	0,050	0,030	0,038	0,062	0,067	1,2	1,8
		1040	1030	1090	1090	930	980	680	680
Magnesium	0,10	0,027	0,040	0,052	0,066	0,036	0,044	0,48	1,1
		500	500	500	450	500	500	390	340
	0,20	0,015	0,019	0,013	0,016	0,017	0,030	0,10	0,14
		720	730	780	770	680	680	520	520

Nimmt man die Ergebnisse der Tabelle VII zu denjenigen der Tabellen I und II hinzu, so läßt sich mit Bestimmtheit sagen, daß die Anwesenheit von Wasser-

dampf bei allen Metallen und für alle Gase die Löschwirkung begünstigt.

Um zu untersuchen, ob bei dieser Wirkung die chemische Beschaffenheit eine Rolle spielt, wurden die Versuche mit Alkohol-, Benzol- und Kohlenstofftetrachloriddämpfen wiederholt. Zu diesem Zwecke perlten die mit Schwefelsäure und Phosphorpentoxyd getrockneten Gase durch eine Waschflasche, in der sich die betr. Flüssigkeit, deren Dampf untersucht werden sollte, befand. Die Versuche wurden wiederum in der Weise durchgeführt, daß zuerst der Wert von α_{II}/α_{I} für trockenes Gas ohne Dampf gemessen wurde, unmittelbar nachher, ohne daß die Funkenstrecke inzwischen auseinandergenommen war, der Wert für das den betr. Dampf enthaltende Gas. Um sicher zu gehen, daß dem Alkoholdampf kein Wasserdampf beigemengt war, wurden dem Alkohol, der als 99,8%ig bezogen war, die letzten Reste des Wassers durch tagelanges Stehenlassen mit wasserfreiem Kupfersulfat entzogen. Die beobachteten Werte sind in Tabelle VIII zusammengestellt.

Bei den Versuchen mit Benzoldampf scheidet sich an den Elektroden der Funkenstrecke besonders viel Kohle ab; dadurch wird der günstige Einfluß des Dampfes bald wieder rückgängig gemacht. Die in die Tabelle aufgenommenen Zahlen sind diejenigen, die nach kurzer Durchströmungszeit beobachtet wurden.

Aus der Tabelle geht hervor, daß alle diese Dämpfe die Löschwirkung in ungefähr demselben Maße erhöhen wie Wasserdampf, daß demnach die chemische Beschaffenheit des Dampfes keinen wesentlichen Einfluß ausübt.

Was die Erklärung dieser Wirkung betrifft, so würde es bei Wasserdampf in Luft, Sauerstoff und Stickstoff naheliegen, daran zu denken, daß der Wasserdampf durch den

Tabelle VIII.

Metalle	Alkoholdampf in Wasserstoff		Benzoldampf in Wasserstoff		Kohlenstofftetrachloriddampf in Stickstoff	
	ohne A.	mit A.	ohne B.	mit B.	ohne K.	mit K.
Kupfer	2,6 560	4,0 570	2,0 590	2,7 540	0,16 790	0,27 780
	1,0 700	1,6 690	— —	— —	0,20 780	0,30 800
Silber	1,8 580	2,7 580	1,9 560	3,1 560	0,069 800	0,17 900
	0,77 680	1,1 680	0,86 700	0,91 680	0,098 810	0,18 860
Magnesium	0,71 330	1,1 400	0,11 510	0,15 530	0,052 800	0,12 850
	0,19 510	0,37 520	0,044 680	0,084 680	— —	— —

Funken zersetzt, daß dadurch das Gas in unmittelbarer Nähe der Funkenbahn wasserstoffhaltig wird und daß auf diesen Gehalt an Wasserstoff die erhöhte Löschwirkung zurückzuführen ist. Gegen diese Annahme spricht einmal die Tatsache, daß dieselbe Erhöhung der Löschwirkung auch in Wasserstoff erzielt wird, ferner die Tatsache, daß sie sich auch bei Kohlenstofftetrachlorid in Stickstoff zeigt: hier könnte bei der Zersetzung nur Chlor entstehen, das nach den Erfahrungen des § 6 für die Löschwirkung ungünstiger ist als Stickstoff.

Auch die bekannte Herabsetzung der Ionenbeweglichkeit in feuchten Gasen[1] kann zur Erklärung nicht herangezogen werden. Eine Erniedrigung der Ionengeschwindig-

[1] Vergl. z. B. G. Rothgiesser, Diss., Freiburg 1913.

keit in dem Maße, wie sie bisher bei feuchten Gasen im Gegensatz zu trockenen beobachtet wurde, könnte nach den Beobachtungen von § 6 nur eine Verschlechterung der Löschwirkung zur Folge haben.

Es bleibt demnach wohl nur die Annahme, daß die in der ersten Halbperiode der Schwingung gebildeten negativen Ionen sofort zu Kondensationskernen für die Dämpfe werden, mit denen das Gas ganz oder nahezu gesättigt war, und daß dadurch ihre Masse so stark vergrößert wird, daß diese Ionen für die folgenden Halbperioden der Schwingung unschädlich gemacht sind, d. h. daß sie bei den zur Verfügung stehenden Feldern nicht mehr imstande sind, Stoßionisation hervorzurufen.

§ 8.

Einfluß des Metalls der Elektroden.

Um den Einfluß des Metalls gut hervortreten zu lassen, sind die Zahlen der Tabelle I umgerechnet, indem die Werte von α_{II}/α_I für Kupfer bei allen Funkenlängen und in allen Gasen $= 1$ gesetzt sind. Wir erhalten so die Tabelle IX.

Die Reihenfolge der Metalle ist also für alle Gase ungefähr dieselbe. Die beste Löschwirkung geben Kupfer, Messing, Platin und Silber, deren Reihenfolge sich nicht genau angeben läßt, die schlechteste Magnesium, zwischen beiden steht Nickel. Werden noch Zink und Aluminium eingereiht, für die aus den in § 2b angegebenen Gründen nur wenig Beobachtungen gemacht wurden, so ergibt sich nach abnehmender Löschwirkung geordnet, folgende Reihenfolge:

$$\overbrace{\text{Messing, Cu, Pt, Ag,}}\quad \overbrace{\text{Zn, Ni, Al,}}\quad \text{Mg}^1.$$

[1] Die Reihenfolge ist im wesentlichen dieselbe, die M. Wien (l. c.) in Luft gefunden hat. Vergl. auch D. Roschansky, Phys. Z. **13**, 931, 1912 und H. Rohmann, Phys. Z. **14**, 528, 1913.

Tabelle IX.

Funkenlänge	Luft				Stickstoff				Sauerstoff				Methan				Wasserstoff			
= (mm)	0,11	0,21	0,32	Mittel	0,10	0,20	0,31	Mittel	0,11	0,21	0,32	Mittel	0,11	0,21	0,32	Mittel	0,11	0,21	0,32	Mittel
Kupfer	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Silber	0,74	0,95	0,83	0,84	0,74	1,00	0,93	0,85	0,78	1,20	1,30	1,09	0,50	0,68	0,89	0,69	1,12	0,95	0,78	0,95
Messing	0,92	0,89	0,72	0,84	1,50	1,36	1,37	1,41	0,89	1,10	1,03	1,01	0,98	1,00	1,11	1,03	1,16	2,20	1,27	1,54
Platin	0,66	1,44	0,98	1,02	1,63	1,46	1,18	1,42	1,10	1,10	0,96	1,05	0,34	0,63	0,70	0,56	1,18	1,65	0,91	1,25
Zink	0,72	1,00	0,80	0,84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nickel	0,66	1,00	0,59	0,75	0,79	1,00	0,70	0,83	0,92	0,73	0,88	0,88	0,28	0,46	0,52	0,42	0,78	0,80	0,57	0,72
Aluminium	0,32	0,18	0,16	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Magnesium	0,052	0,053	0,051	0,052	0,20	0,18	0,17	0,18	0,055	0,091	0,090	0,079	0,064	0,085	0,20	0,12	0,082	0,080	0,040	0,067

Die durch eine Klammer zusammengefaßten Metalle sind in ihrer Löschwirkung ungefähr gleichwertig; ihre Reihenfolge läßt sich nicht genau angeben.

Der Unterschied zwischen Nickel und Kupfer ist dabei lange nicht so groß, wie der zwischen Magnesium und Nickel.

Der Diskussion der Resultate sei wieder eine Zusammenstellung verschiedener physikalischer Konstanten der Metalle vorausgeschickt (Tabelle X).

Tabelle X.

Metalle	A	k	c	ϱ	a^2	Sch	Sie	Kathodenfall in Luft	Stickstoff	Wasserstoff
Kupfer	63,6	0,90	0,091	8,9	1,1	1084	2300	252	208	263
Silber	107,9	1,01	0,055	10,5	1,7	955	2000	279	233	295
Messing	—	0,24	0,093	8,4	0,31	900	—	—	—	—
Platin	195,0	0,17	0,032	21,4	0,25	1750	—[1]	277	216	276
Zink	65,4	0,27	0,092	7,1	0,41	419	950	277	216	242
Nickel	58,7	0,14	0,106	8,8	0,15	1470	—[1]	226	197	276
Aluminium	27,1	0,48	0,214	2,7	0,83	657	>2200	229	179	171
Magnesium	24,3	0,38	0,250	1,7	0,90	630	1100	224	188	153

Die Tabelle enthält also:

A Atomgewicht,
k Wärmeleitvermögen bei 18° C[2],
c spezifische Wärme bei 18° C[2],
ϱ Dichte[2],
$a^2 = \frac{k}{\varrho \cdot c}$ Temperaturleitfähigkeit,
Sch Schmelzpunkt[2],
Sie Siedepunkt[3],
Kathodenfall[4].

[1] Im Lichtbogenofen destillierbar.
[2] Nach Kohlrausch, l. c.
[3] Nach Landolt-Börnstein, l. c.
[4] Nach K. Rottgardt, Ann. Phys. **33**, 1161, 1910.

Aus der Tabelle X geht jedenfalls mit Sicherheit hervor, daß die Löschwirkung keineswegs mit dem Wärmeleitvermögen der Metalle Hand in Hand geht. So haben z. B. Platin und Messing schlechteres Wärmeleitvermögen als Magnesium, aber bedeutend bessere Löschwirkung. Die weitverbreitete Ansicht, daß Kupfer und Silber deshalb besonders günstig für Stoßerregung sind, weil sie eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen, ist also in dieser Form jedenfalls nicht richtig. Daß vermöge des hohen Wärmeleitvermögens Elektroden aus Kupfer und Silber sich besonders leicht kühlen lassen, daß es demnach bei solchen Löschfunkenstrecken in der Praxis besonders leicht ist, eine schädliche Erhitzung der Elektroden durch hohe Funkenzahl und starken Strom zu verhindern, gehört in einen andern Zusammenhang.

Ebensowenig wie das Wärmeleitvermögen kann die Temperaturleitfähigkeit des Metalls ausschlaggebend sein. Auch der ziemlich niedrige Siedepunkt und eventuell auch Schmelzpunkt des Magnesiums erklärt nicht seine Ausnahmestellung; Zink, dessen Schmelzpunkt und Siedepunkt noch tiefer liegt, gibt bedeutend bessere Löschwirkung. — Desgleichen reicht der niedrige Kathodenfall von Magnesium zur Erklärung nicht aus, denn Aluminium hat ebenfalls einen ziemlich kleinen, in Stickstoff sogar einen kleineren Kathodenfall als Magnesium. Es läßt sich nach der Tabelle X höchstens aussagen, daß Magnesium das einzige von den untersuchten Metallen ist, das gleichzeitig kleinen Kathodenfall und niedrigen Siedepunkt hat, doch ist damit für die Erklärung wenig gewonnen. Auch die Annahme, daß die Metallionen, die sich in der ersten Halbperiode bilden, durch chemische Bindung entfernt werden[1], ist zum mindesten sehr unwahrscheinlich, denn

[1] Vergl. B. Glatzel, l. c.

es wäre sonst nicht zu verstehen, daß das chemisch so aktive Magnesium in allen Gasen eine viel schlechtere Löschwirkung geben sollte als Platin.

Es wurde deshalb versucht, auf anderem Wege Klärung der Frage zu schaffen, nämlich durch Betrachtung der Funkenstrecke im rotierenden Spiegel, sowie durch mikroskopische und spektroskopische Beobachtungen.

§ 9.

Untersuchung von Funkenstrecken im rotierenden Spiegel.

a) Die Anordnung war folgende: die Funkenstrecke befand sich in einem Kondensatorkreis mit einer Kapa-

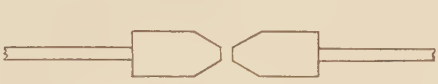


Fig. 6.

zität von etwa 4×10^{-2} M. F. und einer Wellenlänge von ca. 15 km. Die Aufladung erfolgte teils mit 50 periodigem Wechselstrom, teils mit Gleichstrom und Unterbrecher (nur wenige Unterbrechungen pro Sek.). Für einige Versuche wurde mit einer 40 plattigen Influenzmaschine von O. Leuner in Dresden aufgeladen. Als Elektroden wurden zumeist solche von der Form Fig. 6 verwandt. Als rotierender Spiegel wurde ein Boasscher Spiegel mit maximal 12000 Touren pro Min. benutzt. Die photographischen Aufnahmen wurden in der Weise gemacht, daß die photographische Platte an einem Schlitz vorbeigezogen wurde, der parallel zum Funkenbilde im rotierenden Spiegel stand; auf diese Weise kann man auf derselben Platte eine große Anzahl von Funkenbildern neben einander erhalten. Als photographische Platten wurden gewöhnliche hochempfind-

liche Platten benutzt, nachdem festgestellt war, daß bei Verwendnng von lichthoffreien Platten die Aufnahmen nicht besser ausfielen.

Untersucht wurden die Metalle Cu, Ag, Messing, Pt, Au, Pb, Sn, Zn, Mg.

b) Die Beobachtung ergab das folgende:

Bei Cu, Ag, Messing, Pt, Au, Pb erschien im Spiegel stets das bekannte Bild der Feddersenschen Methode: Fig. 7a—d (Tafel I); zwischen den einzelnen Entladungen herrschte völlige Dunkelheit.

Bei Magnesium lieferte der Wechselstrombetrieb schon in Wasserstoff ein wesentlich anderes Bild. Zwichen den Hauptentladungen (Fig. 8a, AB), die jeder Halbperiode des Wechselstroms entsprachen, traten noch eine größere oder kleinere Zahl von „Nachzüglern" auf, augenscheinlich Entladungen von viel kleinerer Amplitude (Fig. 8a, CD; besonders gut sind diese Nachzügler auf den Aufnahmen in Luft Fig. 8b und c zu sehen). Zu diesen Nachzüglern kam in Stickstoff ein schwaches Leuchten der Elektroden an der Ansatzstelle des Funkens hinzu, das am stärksten war unmittelbar nach einer Hauptentladung und meist bald nachher verschwand. In Sauerstoff bezw. Luft nahm sowohl die Dauer, als die Stärke dieses Nachleuchtens so stark zu, daß eine oder beide Ansatzstellen des Funkens im rotierenden Spiegel eine fast ununterbrochene, hell leuchtende Linie bildete (vergl. Fig. 8b).

Daß es sich bei diesem Leuchten um ein wirkliches Glühen der Ansatzstelle handelt, ergab die spektroskopische Betrachtung der Funkenstrecke. Zu diesem Zwecke wurde mittels einer Linse das Bild der Funkenstrecke auf den Spalt des Spektrographen (Hilger, London) geworfen, sodaß das Bild der Funkenbahn in die Längsrichtung des

Spaltes fiel (vergl. Fig. 9). Als photographische Platten wurden solche von Wratten und Wainright benutzt. Wie aus den Aufnahmen[1] Fig. 10a und b, Tafel II hervorgeht, tritt bei Magnesium an der oberen und unteren Begrenzung des Spektrums, die den Ansatzstellen des Funkens entspricht, ein kontinuierliches Spektrum auf, ein Zeichen, daß das

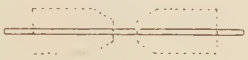


Fig. 9.

Leuchten an diesen Stellen von einem glühenden festen Körper herrührt. Bei den spektrographischen Aufnahmen des Funkens von Kupfer- und Silberelektroden (Fig. 10c und d) fehlte dieses kontinuierliche Spektrum stets, wie auch im rotierenden Spiegel niemals ein Nachglühen sich bemerkbar machte.

[1] An den Spektrogrammen der Tafel II fällt auf, daß einzelne Linien, die dem Spektrum des Metalls angehören, am Rande (d. h. also den den Elektroden benachbarten Teilen) bedeutend breiter sind, als in der Mitte. Die Identifizierung der Linien ergab, daß diese Erscheinung nur bei Funkenlinien, nie bei Serienlinien auftritt. Andererseits zeigen keineswegs alle Funkenlinien diese teilweise Verbreiterung, sondern nur einzelne, und zwar sind es gewöhnlich solche (z. B. Mg 4481), über deren eigentümliches Auftreten und Verschwinden schon eine Reihe anderweitiger Beobachtungen vorliegt (vergl. darüber H. Kayser, Handbuch der Spektroskopie, Leipzig 1910). Diese Erscheinung könnte vielleicht im Zusammenhange stehen mit den Beobachtungen von Schuster und Hemsalech (Phil. Trans. A. **193**, S. 189, 1900) und von Royds (Phil. Trans. A. **208**, S. 233, 1908). Die genannten Autoren untersuchen die Geschwindigkeit des Metalldampfes im Funken und finden, daß nicht alle Linien desselben Spektrums dieselbe Geschwindigkeit anzeigen, daß vielmehr 2 Typen von Linien zu unterscheiden sind: Typ I entspricht einer verhältnismäßig geringen Geschwindigkeit, die wahrscheinlich der Diffussion zuzuschreiben ist, Typ II einer größeren Geschwindigkeit. Die Mg-Linie 4481, welche die oben erwähnte Erscheinung sehr deutlich zeigt, gehört z. B. zum Typ I. — Doch habe ich mich auf eine nähere Untersuchung dieser Frage nicht eingelassen.

Bei Betrieb mit Funkeninduktor und unterbrochenem Gleichstrom war die Erscheinung wesentlich dieselbe wie bei Wechselstrombetrieb, dagegen fehlten bei Betrieb mit Influenzmaschine die Nachzügler bei Magnesium vollkommen (Fig. 8d). Das Nachglühen der Elektroden war auch hier vorhanden, beschränkte sich aber auf die Zeit unmittelbar nach einer Entladung.

Die Funkenaufnahmen der Zinn- und Zinkelektroden (Fig. 11a und b der Tafel III) nehmen eine Mittelstellung ein: sie nähern sich den Aufnahmen bei Magnesiumelektroden insofern, als auch bei ihnen ein wenn auch nur schwaches und auf den photographischen Aufnahmen nicht sichtbares Nachglühen auftritt und dementsprechend auch bei spektroskopischer Betrachtung des Funkens sich eine beiderseitige kontinuierliche Begrenzung des Spektrums ganz schwach zeigt. — Bei dem Spektrogramm des Zinnfunkens (Fig. 10e) ist dies ebenfalls nicht sichtbar. — Auf der anderen Seite stellt das vollkommene Fehlen von Nachzüglern Zinn und Zink mehr in die Nähe der Kupfer-Silber-Gruppe.

Bei einer Reihe von Aufnahmen des Magnesiumfunkens im rotierenden Spiegel sind vor der eigentlichen Entladung zwei kurze Streifen auf beiden Seiten der Funkenbahn sichtbar, genau derselben Art, wie sie von dem oben besprochenen Glühen der Elektroden nach der Entladung herrühren (z. B. in Fig. 8c rechts oben sichtbar). Es lag daher die Vermutung nahe, daß es sich hier um ein zeitliches „Vorleuchten" der Elektroden handelte, etwa hervorgerufen durch eine der eigentlichen Funkenentladung vorausgehende Glimmentladung[1]. Indessen ergab die nähere Untersuchung, daß dieser Schluß nicht richtig ist. Die Erklärung dieser Erscheinung ist vielmehr die folgende. Beim Einsetzen

[1] B. Walter, Wied. Ann. **66,** 636, 1898; **68,** 776, 1899.

des Funkens erscheinen die beiden Vorderflächen der Elektroden in ihrer ganzen Ausdehnung infolge diffuser Reflektion des sehr starken Funkenlichtes helleuchtend. Ihr Bild bei der Aufnahme von der Seite erscheint demnach als zwei helleuchtende Striche senkrecht zur Funkenbahn (vergl. Fig. 12 e bis h der Tafel III.) Die Striche treten dann auch bei der Aufnahme im rotierenden Spiegel auf und täuschen das erwähnte „Vorleuchten" vor. Eine Bestätigung dieser Auffassung liegt in der Tatsache, daß bei der Verwendung möglichst vollkommener Spitzen als Elektroden das Vorleuchten stets fehlte und daß bei anderen Elektrodenformen die beobachteten Striche um so länger ausfielen, je breiter die benutzten Elektroden waren.

c) Auch bezüglich der Ansatzstelle des Funkens zeigte sich ein wesentlicher Unterschied zwischen der Kupfer-Silber-Gruppe einerseits, Magnesium andererseits. Bei Elektroden der ersten Gruppe zeigten schon die photographischen Aufnahmen einer einzigen Entladung ohne rotierenden Spiegel (Fig. 12a bis d der Tafel III), daß die Ansatzstelle des Funkens während des Ablaufs einer Entladung ihren Platz wechselt, ähnlich wie etwa bei einem Hörnerblitzableiter. Die Aufnahmen im rotierenden Spiegel bestätigen dieses (Fig. 7a bis d): sie zeigen, daß von Periode zu Periode ein lebhaftes Hin- und Herwandern der Ansatzstelle des Funkens stattfindet meist in der Weise, daß der Funke von der Stelle kürzesten Elektrodenabstandes fort nach außen zu wandert, sodaß bei der benutzten Elektrodenform auf diese Weise die Funkenlänge wächst[1] (vgl. Fig. 7c und d). Bei Magnesiumelektroden hingegen bleibt die Ansatzstelle des Funkens während einer Entladung stets an derselben Stelle, wie aus den Aufnahmen

[1] Ähnliche Beobachtungen haben A. Batelli und L. Magri (Phil. Mag. **5**, 629, 1903) bei Platinelektroden gemacht.

im ruhenden und rotierenden Spiegel (Fig. 12e bis h und Fig. 8b und d) übereinstimmend hervorgeht.

Die mikroskopische Betrachtung des Magnesiumfunkens, bei der zur Abblendung des zu hellen Funkenlichtes ein rotes Farbfilter benutzt wurde, ergab, daß bei Magnesium der Funken längere Zeit (nicht nur auf die Dauer einer Entladung) an derselben Stelle übergeht. Er setzt an einem der vielen kleinen Zacken der rauhen Oberfläche an, der dabei hell aufglüht und schließlich schmilzt oder verdampft, häufig auch glühend fortgeschleudert wird. Von diesem Augenblicke an geht der Funken auf eine andere Stelle über.

§ 10.

Erklärung des verschiedenen Verhaltens der Metalle aus ihrer verschiedenen Elektronenemission.

Alle diese im vorigen Paragraphen beschriebenen Beobachtungen legen den Gedanken nahe, daß der Grund für den Unterschied zwischen Magnesium und der Kupfer-Silber-Gruppe in einer sehr viel stärkeren Elektronenemission von Magnesium liegt.

a) Man hätte sich dann die Beobachtungen an Magnesiumelektroden in folgender Weise zu erklären. Wenn in der ersten Halbperiode an einer Stelle der Elektrode ein Funke übergeht, so wird die Ansatzstelle erhitzt und infolge der Erhitzung findet an der betr. Stelle eine so starke Elektronenemission statt, daß während der folgenden Halbperioden der Funke stets wieder an dieser Stelle ansetzt. Die Folge davon ist, daß diese Stelle immer mehr erhitzt und die Elektronenemission immer mehr gesteigert wird. Diese lokale Erhitzung der Elektroden hält auch noch an, wenn die Entladung schon abgelaufen ist, sodaß jetzt schon verhältnismäßig kleine Spannungen genügen, um eine

neue Entladung von kleinerer Amplitude, die oben besprochenen Nachzügler, hervorzurufen. Durch diese Nachzügler, bei denen der Funken wieder an der alten Ansatzstelle übergeht, wird diese Stelle immer wieder von neuem erhitzt und dadurch die Funkenstrecke immer wieder von neuem ionisiert, sodaß auch bei den folgenden Hauptentladungen der Funke wieder dieselbe Ansatzstelle wählt. In Gasen mit verhältnismäßig schlechtem Wärmeleitvermögen (Stickstoff und Luft) steigert sich die Erhitzung der Funkenansatzstelle bis zum Glühen[1], während in Wasserstoff mit seinem guten Wärmeleitvermögen die Temperatur nicht so hoch wird, daß ein sichtbares Leuchten entsteht. — Daß bei Betrieb mit der Influenzmaschine die Nachzügler nicht beobachtet wurden, spricht nicht gegen die angegebene Auffassung. Voraussetzung für Nachzügler ist natürlich, daß die Elektrizitätsquelle nach Ablauf der Hauptentladung genügend rasch Elektrizität nachliefert, um die Kondensatoren auf eine genügend hohe Spannung aufzuladen. Diese Voraussetzung trifft wohl bei Verwendung eines Funkeninduktors und zwar sowohl bei Wechselstrombetrieb, als bei Betrieb mit Unterbrecher und starkem Gleichstrom zu, nicht aber bei der Influenzmaschine. —

Wenn dagegen bei den Elektroden der Kupfer-Silber-Gruppe ein Funke übergegangen ist, so wird die Ansatzstelle des Funkens ebenfalls erwärmt, aber die Elektronenemission ist so gering, daß der Funke in der nächsten Halbperiode nicht an derselben Ansatzstelle übergeht, sondern ähnlich wie der Bogen am Hörnerblitzableiter denjenigen Weg im Gase wählt, der von der vorhergehenden Halbperiode her noch am stärksten ionisiert ist. Da auf diese Weise die Ansatzstelle des Funkens auf

[1] Vergl. § 10b, letzter Absatz.

der Elektrode fortgesetzt wechselt, so fällt jeder Grund für eine starke lokale Erhitzung, wie sie beim Magnesium beobachtet wurde, weg.

Bei Zinn und Zink nähert sich die Stärke der Elektronenemission schon derjenigen von Magnesium. Infolge davon geht auch hier der Funke während einer Entladung stets an derselben Stelle über, und die Ansatzstelle erhitzt sich auch hier in Gasen von geringem Wärmeleitvermögen bis zum Glühen, wenn auch nicht in demselben Maße wie bei Magnesium. Die Elektronenemission reicht aber auch bei diesem schwachen Glühen nicht aus, um die Erscheinung der Nachzügler hervorzurufen.

b) Die Annahme, die der ganzen Erklärung zu grunde liegt, daß nämlich der Grund für das verschiedene Verhalten der Metalle in ihrer verschiedenen Elektronenemission zu suchen ist, ist nicht ad hoc gemacht, sie ist vielmehr durch Beobachtungen auf anderen Gebieten sehr nahe gelegt. Es ist bekannt, daß die Elektronenemissionen eines Metalls beim lichtelektrischen Effekt um so stärker ist, je elektropositiver das Metall ist[1]; die Elektronenemission bei Magnesium ist demnach größer, als bei allen übrigen der von mir untersuchten Metalle. Die Erfahrungen ferner, die man mit der Elektronenemission glühender Metalloxyde (Wehnelt-Kathoden) gemacht hat, stellen ebenfalls Magnesium an die Spitze aller von mir untersuchten Metalle. Nach den Untersuchungen von Wehnelt[2] ist die Reihenfolge der Metalle bezüglich ihrer Wirksamkeit als Wehnelt-Kathode die folgende: besonders wirksam sind

[1] J. Elster und H. Geitel, Wied. Ann. **43**, 225, 1891; vergl. auch J. v. Schweidler, Jahrb. d. Radioaktivität **1**, 358, 1904 und R. Ladenburg, Jahrb. d. Rad. **6**, 425, 1909.

[2] A. Wehnelt, Phys. 14, 425, 1904.

die Oxyde von Ba, Str, Ca, dann Mg, Zn, Cd, unwirksam sind z. B. die Oxyde von Al, Fe, Ni, Pb, Bi, Ag, Cu.

Es ist freilich zweifelhaft, ob man die Erfahrungen beim lichtelektrischen Effekt und bei den Wehnelt-Kathoden auf den vorliegenden Fall übertragen darf. Wenn es aber gestattet ist, dann war nach jenen Erfahrungen anzunehmen, daß Calcium, das noch elektropositiver als Magnesium ist, und dessen Oxyd als Wehnelt-Kathode noch wesentlich wirksamer ist als dasjenige von Magnesium, auch die von mir bei Magnesium beobachteten Erscheinungen in noch erhöhtem Maße zeigen würde. Diese Vermutung hat sich in der Tat bestätigt: sowohl das Nachglühen der Ansatzstellen des Funkens nach Ablauf der Hauptentladung ist bei Calcium besonders intensiv, als auch die Nachzügler sind bei Calcium in noch größerer Zahl vorhanden als bei Magnesium (vergl. die Fig. 13a bis c der Tafel III.)

Gerade die Beobachtungen bei Oxydkathoden legen die Frage nahe, ob nicht bei Magnesium die Oxydation der Oberfläche, die sich hier schon bei der Bearbeitung schwer vermeiden läßt, auch in sauerstofffreien Gasen eine wesentliche Rolle für das Auftreten der Nachzügler und damit für die Elektronenemission in unserem Falle spielt. Um ein Urteil darüber zu gewinnen, wurde folgender Versuch gemacht. In der Anordnung von Seite 37 wurden Magnesiumelektroden, die vorher in Luft bearbeitet und deshalb jedenfalls oberflächlich oxydiert waren, in trockenem Wasserstoff verwendet, und es wurde beobachtet, ob die Erscheinung der Nachzügler sich änderte, wenn man die Funkenstrecke so lange in Betrieb ließ, daß die oberflächliche Oxydschicht auf den Elektroden schon durch Zerstäubung entfernt sein mußte, auch wenn sie bei dem Betriebe in Wasserstoff nicht reduziert worden sein sollte, wie dies bei Kupfer und Silber beobachtet worden war.

Die Beobachtung ergab hier keine nachweisbare Änderung in der Häufigkeit der Nachzügler. Nach diesen Beobachtungen scheint die Oxydation der Oberfläche keine notwendige Bedingung für die hohe Elektronenemission zu sein; nach den Messungen von Fredenhagen[1] ist ja auch die Elektronenemission des reinen Metalls bei Calcium größer als diejenige des Oxyds.

Das dagegen für das Nachglühen Oxydationsvorgänge an der Elektrodenoberfläche von wesentlicher Bedeutung sind, geht schon aus der Tatsache hervor, daß dieses Nachglühen bei weitem stärker in sauerstoffhaltigen Gasen ist, als in solchen ohne Sauerstoff auch dann, wenn das Wärmeleitvermögen in beiden Fällen annähernd das gleiche ist (z. B. Stickstoff und Luft).

c) Die auf Seite 38—42 besprochenen Beobachtungen drängen zu dem Schlusse, daß auch der Grund für die verschiedene Löschwirkung der einzelnen Metalle in der Anordnung von Fig. 1 in ihrer verschiedenen Elektronenemission zu suchen ist. Bei Magnesium mit seiner großen Elektronenemission bleibt die Ionisation zwischen den Elektroden und damit die „Leitfähigkeit" der Funkenstrecke verhältnismäßig groß, der Abfall der Amplitude erfolgt deshalb viel langsamer als bei den Metallen mit kleinerer Elektronenemission, bei denen die geringe Ionisation der Funkenstrecke entweder zu einem sehr großen Energieverbrauch und damit zu einer starken Dämpfung der Schwingungen oder zu einem vorzeitigen Abreißen führen muß. In beiden Fällen muß bei Metallen mit kleiner Elektronenemission das Verhältnis a_{II} a_{I}, das für uns die Güte der Löschwirkung definiert, größer ausfallen als bei den Metallen mit großer Elektronenemission.

[1] K. Fredenhagen, Ber. Verh. Sächs. Ges. d. Wiss. Mathem. phys. Kl. **65**, 42, 1913.

d) Die verschiedene Elektronenemission der Metalle erklärt auch ohne weiteres ihre verschiedene Wirkung[1] bei der gewöhnlichen Löschfunkenanordnung (Koppelung von zwei abgestimmten Systemen). Dort kommt es darauf an, daß die Funkenstrecke nach der ersten halben Schwebung sich so vollständig als möglich entionisiert, damit sie während der folgenden Perioden nicht wieder zündet. Auch dort muß also ein Metall mit großer Elektronenemission (Magnesium, Calcium), das immer wieder von neuem Elektronen in die Funkenstrecke hinein aussendet, besonders ungünstig sein. Es können nur Metalle mit sehr kleiner Elektronenemission (Kupfer-Silber-Gruppe) günstige Wirkung ergeben.

e) Auch eine Reihe von Erscheinungen, die bei ungekoppelten Kondensatorkreisen mit Funkenstrecke beobachtet wurden, finden in der verschiedenen Elektronenemission der Metalle ihre Erklärung. Vor allem gilt dies von dem nach der Bjerkneßschen Methode bestimmten Dekrement eines solchen Kondensatorkreises, das sich bei Elektroden aus Magnesium und Calcium erheblich kleiner ergab, als bei Elektroden der Kupfer-Silber-Gruppe[2]: es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß bei starker Elektronenemission der Abfall der Amplitude langsamer vor sich gehen muß, als bei sehr geringer Elektronenemission.

Es ist ferner nachgewiesen worden[3], daß der zeitliche Verlauf der Spannung an der Funkenstrecke bei

---

[1] Vergl. z. B. M. Wien, Phys. Z. **11**, 282, 1910 und Jahrb. d. drahtl. Tel. **4**, 135, 1911; A. Schmid, l. c.; D. Roschansky, Phys. Z. **13**, 931, 1912; H. Rohmann, l. c.

[2] M. Wien, Phys. Z. **11**, 282, 1910.

[3] D. Roschansky, Phys. Z. **11**, 1177, 1910; Ann. Phys. **36**, 281, 1911 und Phys. Z. **13**, 931, 1912.

Elektroden aus Magnesium ein ganz anderer ist, als bei Elektroden der Kupfer-Silber-Gruppe. Während bei der letzteren in jeder Halbperiode der Strom erst wieder einsetzt, nachdem die Spannung zu sehr hohen Werten emporgeschnellt ist, und die Spannungskurve deshalb am Anfang jeder Halbperiode des Stroms einen hohen Zacken aufweist, fehlen diese bei Magnesiumelektroden vollständig. Bei Magnesium mit seiner hohen Elektronenemission bleibt eben die Funkenstrecke dauernd so stark ionisiert, daß schon ganz kleine Spannungen genügen, um den Strom zum Einsetzen zu bringen, während bei den Metallen der Kupfer-Silber-Gruppe die geringe Elektronenemission und deshalb auch die geringe Ionisation der Funkenstrecke sehr hohe Zündspannungen erfordert.

Im engsten Zusammenhang damit steht die bekannte Tatsache, daß Funkenstrecken mit Elektroden der Kupfer-Silber-Gruppe die Frequenz der Schwingungen erniedrigen, solche mit Magnesiumelektroden nicht[1]: im ersten Fall, in dem die Funkenstrecke nicht oder nur mangelhaft ionisiert ist, erfordert das Einsetzen des Stroms hohe Spannungen an der Funkenstrecke und es vergeht schon deshalb eine gewisse Zeit, bis diese Spannung an der Funkenstrecke sich einstellt. Aber auch dann, wenn diese Spannung schon vorhanden ist, kann noch eine gewisse Zeit notwendig sein, bis der Strom tatsächlich einsetzt (Entladeverzug in schwach oder nicht ionisierten Funkenstrecken); zu der Halbperiode, die sich aus den elektromagnetischen Konstanten des Stromkreises nach der Thomsonschen Formel ergibt, kommt also hier in jeder Halbperiode einer unter Umständen nicht vernachlässigbare Zeit hinzu, die eine Verkleinerung der Frequenz zur Folge

[1] M. Wien, l. c.; H. Riegger, l. c.

hat. Bei Magnesiumelektroden dagegen, bei denen die Funkenstrecke stark ionisiert bleibt, genügen schon ganz geringe Spannungen zum Wiedereinsetzen des Stroms, ein Entladeverzug ist eben wegen der Ionisation unmöglich, und es fällt somit jeder Grund für eine erhebliche Änderung der Frequenz weg.

Ebenso erklärt die verschiedene Elektronenemission der Metalle die folgende Erscheinung[1]. Steigert man bei Benutzung eines Kondensatorkreises mit drahtförmigen Elektroden als Funkenstrecke die Stärke des Ladestroms, so treten bei den Metallen der Kupfer-Silber-Gruppe „Gleitfunken“ auf, d. h. die Entladung spielt sich nicht mehr in den Raum zwischen den Elektroden ab, sondern die Funken laufen seitlich an den Elektroden entlang. Bei Magnesium hingegen wurden diese Gleitfunken nicht beobachtet, hier geht die Entladung stets auf dem kürzesten Wege zwischen den Elektroden über. Es ist dies augenscheinlich fast genau dieselbe Erscheinung, die schon oben (vergl. S. 41—42) beschrieben ist, daß nämlich bei Magnesium der Funke stets an derselben Stelle ansetzt, bei Metallen der Kupfer-Silber-Gruppe hingegen die Ansatzstelle des Funkens von Periode zu Periode wechselt.

f) Endlich seien noch zwei eigene Beobachtungen erwähnt, die ebenfalls auf die verschiedene Elektronenemission der Metalle zurückzuführen sind. Die eine ist schon in Tabelle I registriert: der Effektivwert der Spannung an der Funkenstrecke in der Schaltung von Fig. 1 ist bei Magnesium fast durchweg merklich kleiner als bei Kupfer und Silber. — Die andere Beobachtung bezieht sich auf Wechselstromlichtbogen. Ich habe bei einer

[1] B. Glatzel, l. c.

Klemmenspannung der Wechselstrommaschine von 700 Volt und einem Strome von 3 Ampère zwischen Magnesiumelektroden einen Lichtbogen von einigen mm Länge erhalten. Bei Elektroden aus Kupfer, Silber und Platin war dies indessen nicht möglich: hier erlosch der Bogen, sobald man seine Länge größer als ca. 0,1 mm machte.

Zusammenfassung.

1. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, zu untersuchen, ob für das verschiedene Verhalten der Metalle und Gase hinsichtlich ihrer Löschwirkung chemische Einflüsse das Ausschlaggebende sind, oder ob ihre physikalischen Eigenschaften zur Erklärung ihrer Wirkung ausreichen.

2. Untersucht wurden die Metalle Messing, Kupfer, Silber, Platin, Nickel, Zink, Aluminium, Magnesium in den Gasen Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Methan, Leuchtgas, Wasserstoff, Ammoniak und Chlor.

3. Es bestätigte sich die bei anderen Anordnungen gemachte Erfahrung, daß die Löschwirkung mit Verkleinerung der Funkenlänge sehr stark zunimmt, und zwar bei allen untersuchten Metallen und in allen Gasen.

4. Als Reihenfolge der Gase, geordnet nach zunehmender Löschwirkung ergab sich:

Chlor, Stickstoff, Luft, Sauerstoff, Ammoniak, Methan, Leuchtgas Wasserstoff.

Die Löschwirkung ist für alle Metalle um so besser, einen je größeren Wert das Wärmeleitvermögen und die Ionenbeweglichkeit des Gases besitzt. Ein Grund für die Annahme, daß bei der Löschwirkung chemische Reaktionen zwischen den Metalldämpfen und den umgebenden Gasen eine ausschlaggebende Rolle spielen, liegt nach diesen Resultaten nicht vor.

5. Die Anwesenheit von Dämpfen in einem Gase erhöht die Löschwirkung. Die chemische Zusammensetzung des Dampfes scheint dabei keinen wesentlichen Einfluß auszuüben.

6. Als Reihenfolge der Metalle, geordnet nach zunehmender Löschwirkung, ergab sich:

Mg, Al, Ni, Zn, Ag, Pt, Cu, Messing.

Die durch eine Klammer zusammengefaßten Metalle sind in ihrer Löschwirkung ungefähr gleichwertig. Der Unterschied zwischen der Mg- und der Ni-Gruppe ist dabei bedeutend größer, als der zwischen der Ni- und der Cu-Gruppe. Die Reihenfolge der Metalle geht weder ihrem verschiedenen Wärmeleitvermögen, noch der Temperaturleitfähigkeit parallel.

7. Die Untersuchung der Funkenstrecken im rotierenden Spiegel machte es im höchsten Grade wahrscheinlich, daß der Grund für die verschiedene Löschwirkung der Metalle in ihrer verschiedenen Elektronenemission zu suchen ist.

Letztere würde auch eine Reihe von anderen Beobachtungen bezüglich des Funkendekrements, des zeitlichen Verlaufes der Spannung an der Funkenstrecke, der Änderung der Frequenz durch die Funkenstrecke usw. ohne weiteres erklären.

Die vorstehenden Untersuchungen wurden in dem physikalischen Institute der technischen Hochschule Danzig unter Leitung von Herrn Professor Dr. Zenneck ausgeführt, dem ich für sein förderndes Interesse an ihrem Fortgange meinen herzlichsten Dank aussprechen möchte. Ebenso danke ich Herrn Dr. Riegger für seine vielfachen Ratschläge.

Lebenslauf.

Ich, Ernst Albert Otto Hermann Taege, preußischer Staatsangehöriger, evangelischer Konfession, wurde am 22. Oktober 1888 als Sohn des Professors O. Taege zu Danzig geboren. Ich besuchte das St. Gymnasium zu Danzig, das ich Michaelis 1906 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Darauf widmete ich mich dem Studium der Mathematik und Physik, und zwar bis Ostern 1908 in Danzig, dann ein Semester lang in Freiburg i. B. und endlich in Göttingen bis Ostern 1912.

Während dieser Zeit besuchte ich die Vorlesungen bezw. Übungen folgender Herren:

in Danzig: Eggert, Kalähne, Lorenz, v. Mangoldt, Ruff, Schilling, Thieß, M. Wien;

in Freiburg: Löwy, Lüroth †, Stickelberger;

in Göttingen: Baumann, Haar, Hilbert, Klein, Knoke, Koebe, Krüger, Landau, Minkowski †, Müller, Pompeckj, Prandtl, Riecke, Runge, Voigt, Wiechert.

Im März 1912 bestand ich die Prüfung für das Lehramt an höheren Schulen in reiner und angewandter Mathematik, sowie in Physik. Von Ostern 1912 bis Herbst 1913 arbeitete ich im physikalischen Institut der technischen Hochschule zu Danzig an der vorliegenden Arbeit, wobei ich gleichzeitig von Michaelis 1912 ab mein Seminarjahr ableistete. Seit dem Herbst 1913 bin ich Assistent am physikalischen Institut der Danziger Hochschule.

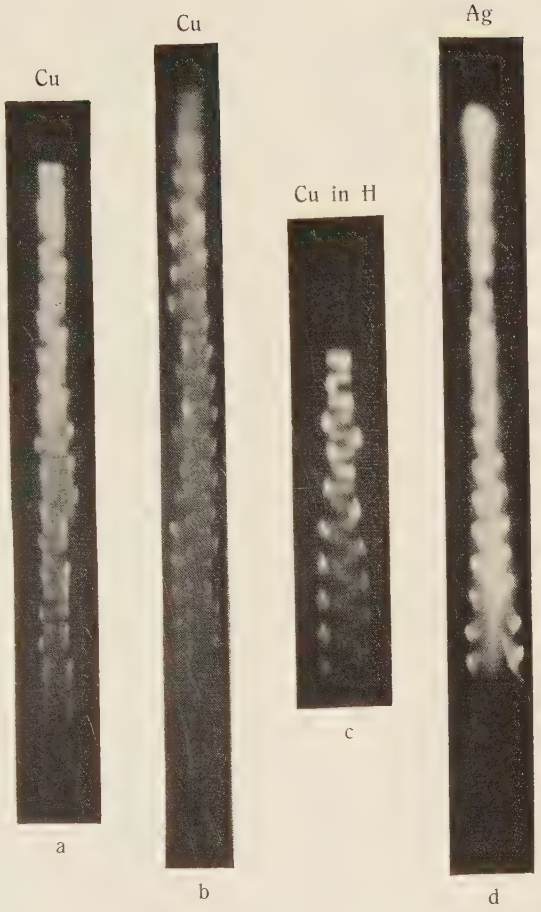


Fig. 7.

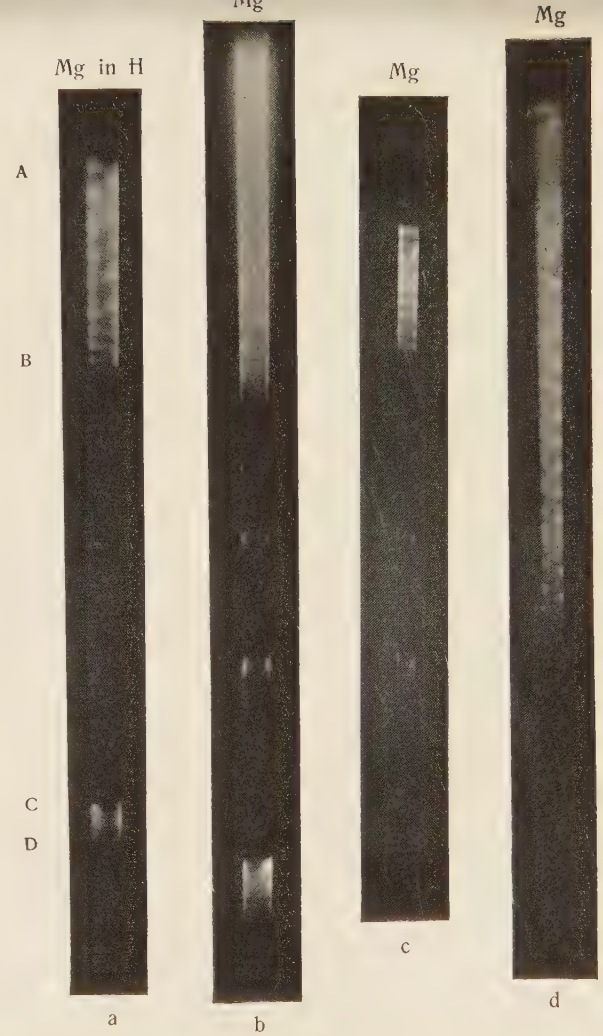


Fig. 8.

Tafel I.

Tafel II.

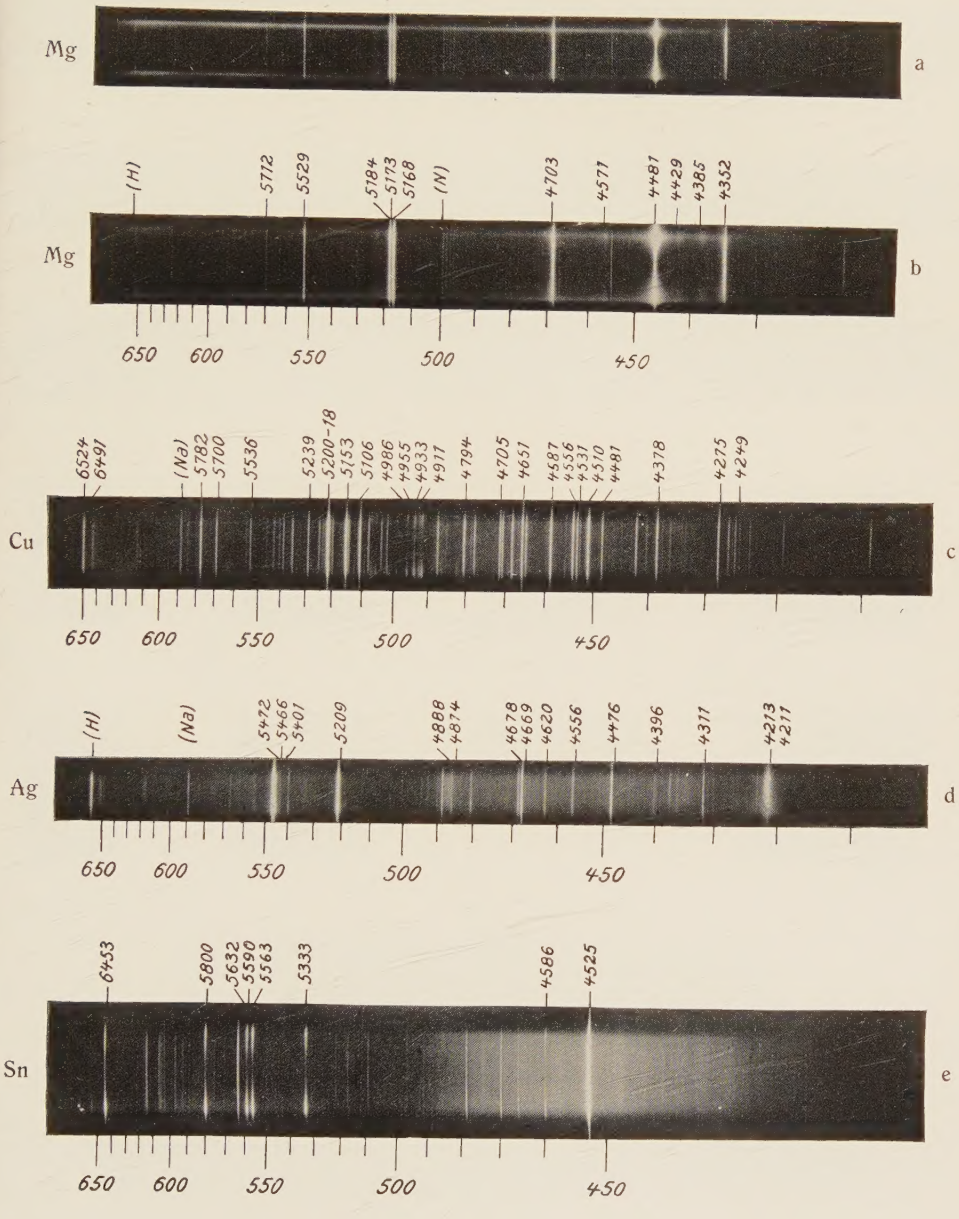
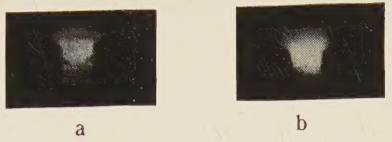
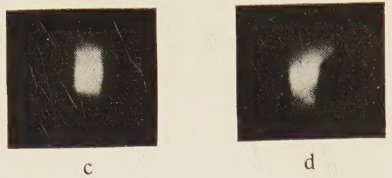
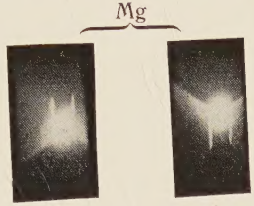


Fig. 10.

Fig. 11.







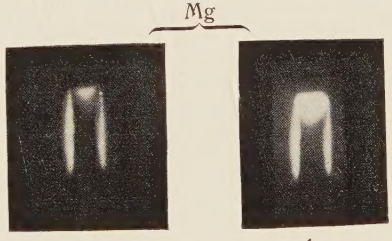


Fig. 12.

Fig. 13.

Tafel III.